



Risøs indsats i forbindelse med Energiministeriets forskningsprogrammer. Status ultimo december 1987

Christensen, Peter Skjerk; Petersen, S.

Publication date:
1988

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Christensen, P. S., & Petersen, S. (Eds.) (1988). *Risøs indsats i forbindelse med Energiministeriets forskningsprogrammer. Status ultimo december 1987*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2701

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Risøs Indsats i Forbindelse med Energiministeriets Forsknings- programmer

Status ultimo december 1987

Redigeret af P. Skjerk Christensen og Stine Petersen

RISØ-M 2701

**FISØS INDSATS I FORBINDELSE MED ENERGIMINISTERIETS
FORSØGNINGSPROGRAMMER**

Status ultimo december 1987

Redigeret af P. Skjerk Christensen og Stine Petersen

Abstract. Risø har siden 1978 haft ansvaret for mange projekter under de energiministerielle forskningsprogrammer. I denne rapport, der vedrører EFP-87 projekter, gives en status for igangværende og en omtale af afsluttede projekter, dels ved en almen beskrivelse af arbejdet og dels med en summarisk omtale af de opnåede resultater. En nøjere gennemgang af nogle af projekterne kan findes i referencelisten. Sluttelig omtales Risøs bidrag til organisation og administration af energiforskningsprogrammerne.

Forskningscenter Risø, 4000 Roskilde
Juni 1988

ISBN 87-550-1418-6

ISSN 0418-6435

Grafisk Service Center, Risø 1988

INDHOLDSFORTEGNELSE	Side
INDLEDNING	7
Status for Risøs EFP-aktiviteter	7
2. ENERGIANVENDELSE I INDUSTRIELLE PROCESSER OG APPARATER	9
2.1. Vådoxidation	9
2.2. Indpasning af større absorptionskølemaskiner i det danske system	11
3. ENERGIANVENDELSE I JORDBRUGSSEKTOREN	15
3.1. Udnyttelse af symbiotisk kvælstofbinding i planteavl	15
5. OLIE OG NATURGAS	18
5.1. Karakteriseringslaboratorium	18
5.2. Geokemiske kriterier for reservoirkvalitets- variationer i Nordsø kalk	21
5.3. Karakterisering af kerogen til bestemmelse af aktiveringsdata for kulbrintefrigørelse ved bassinmodellering, FASE 1	22
5.4. Reservoirsimulering	22
5.5. Bassinmodellering	24
5.6. Stor-skala laboratorieforsøg vedrørende 2-fase olie-gas flow i rørledninger	25
6. KUL	26
6.1. Karakterisering af polycyclisk organisk materiale (POM) i røggasser fra kulfyrede forbrændingsanlæg	26
6.2. EDB model vedrørende miljøeffekter ved energiproduktion	27
6.3. Anvendelse af jordbundskemimodel på skovjord	28
6.4. Afsvovlningsprodukters effekt på plantevækst	30

	Side
6.5. Eksperimentelle undersøgelser af kulstøvsbrænder	31
6.6. Grundlæggende forbrændingsforskning	33
6.8. Sekretariatsopgaver for kulstyregruppen	35
8. FUSION	36
8.1. Det generelle fusionsforskningsprogram på Risø	36
8.2. Pilleinjektorsystemer og overfladefysik	37
10. VINDENERGI	38
10.1. Prøvestationens EFP-status ultimo 1987	38
10.2. Gust estimering	41
10.3. Kohærensundersøgelse for vindmøller	43
14. FYRINGS- OG FORBRÆNDINGSTEKNIK	44
14.1. Afprøvning og verifikation af laserbaserede målemetoder	44
14.2. Praktisk anvendelse af lasermåleteknik	44
14.3. Udvikling af EDB-model for stationær tre-dimensionel turbulent gas-partikel strømning	45
15. ENERGILAGRING	47
15.1. Udvikling af materialer til brændselsceller med iltionledende faststofelektrolytter	47
15.2. Elektromagnetisk svinghjulslager	48
15.3. Lithiumbatterier med flydende katode	50
15.4. Lagring af industriel Hydrogen	55
15.5. Karakterisering af Palladium som elektrode-materiale i brændselsceller	55
15.6. Varmelagring i grundvandsreservoir	57
15.7. Lavtemperaturvarmelagring	58
18. UDREDNINGER OG DOKUMENTATION	59
18.1. EDB-registrering af dansk litteratur og forskning	59

	Side
18.2. Udvikling af model for varme- og elproducerende energisystemer	60
18.3. Udvikling og implementering af teknisk økonomiske modeller på offshore området . . .	61
18.4. Driftspålidelighed for mindre vindmøller/ økonomiske konsekvenser	62
18.5. Fælles præsentation af DGU's, Risøs og DTH's olie/gas F&U aktiviteter for olie-selskaberne	64
18.5. Energiministeriets udstillingsvirksomhed . .	65
RESSOURCER	66
RISØS REFÆSENTATION I EFP-STYREGRUPPER	70
REFERENCELISTE	71
APPENDIX	77

INDLEDNING

Udbygningen af dansk energiforskning er siden 1976 sket gennem 2 handelsministerielle og 11 energiministerielle programmer, hvortil der er bevilget 1.1 mia kr. Forskningscenter Risø har som projektledende institution fået ansvaret for ca. 18 % af disse midler.

Risøs engagement i energiforskningsprogrammerne spænder over et bredt felt, og her gives en beskrivelse af aktiviteterne i fortsættelse af tidligere beskrivelser. (Risø-M-2362 - 2433 - 2514 - 2560 - 2628).

Risø har løbende bidraget til den organisation, der planlægger, styrer og vurderer programmerne. Dette engagement omtales også kort.

Overvejelser vedrørende Risøs faglige og organisatoriske baggrund for at påtage sig forskningsprojekter i forbindelse med de energiministrielle forskningsprogrammer samt om Risøs mulige indsatsområder i de kommende programmer er ikke behandlet i denne faglige statusrapport. Disse overvejelser finder løbende sted i forbindelse med Risøs programlægning.

STATUS FOR RISØS EFP-AKTIVITETER

I det følgende gives først en række beskrivelser af de projekter, der gennemføres på Risø som dele af de energiministerielle programmer. Dernæst bringes en række oplysninger om de ressourcer, der er tildelt aktiviteterne fra energiforskningsprogrammerne. For overskuelighedens skyld er aktiviteterne grupperet, opstillet og nummereret i den rækkefølge, der indtil 1987 blev benyttet i EFP-planen. I foråret 1987 skete der en omstrukturering af EFP-projekternes styring, idet de hidtidige styregrupper blev afløst af et væsentlig færre antal forskningsudvalg.

Mange projekter har været omtalt i de tidligere statusrapporter og er derfor kun omtalt summarisk her. Nyere projekter har fået en mere detaljeret omtale. Endelig er enkelte afsluttede projekter blevet udførligt beskrevet med resumé af de væsentligste resultater. For flere projekters vedkommende kan mere udførlig information hentes i referencelisten.

Det vil fremgå af beskrivelsen af projekterne og af referencelisten, at selv om hovedvægten af indsatsen er lagt på energiudvinding, -konvertering, -lagring og -anvendelse, så er miljømæssige forhold et centralt emne for en række af forskningsprojekterne, især for områderne forbrændingsprocesser, spredning af forbrændingsprodukter og kemiske forhold i jordbunden.

I en rapport som denne, som berører et stort spektrum af fagdiscipliner, bruges en mængde fagudtryk og forkortelser, der er specifikke for den pågældende disciplin. Anvendelsen anses for nødvendig for at give en nøjagtig beskrivelse af emnet. I nogle tilfælde er disse udtryk og forkortelser forklaret, men teksten ville blive for tung, hvis der i alle tilfælde skulle indføjes en forklaring.

Det skal sluttelig bemærkes, at de beskrevne aktiviteter kun vedrører energiforskningsprogrammerne til og med EFP-87.

Risøs andel i EFP88 omtales kort i appendix.

OMRÅDE NR. 2: ENERGIANVENDELSE I INDUSTRIELLE PROCESSER OG APPARATER

2.1. Vådoxidation (EM j.nr. 1223/86-1)

Med udgangspunkt i problemstillingen under projektet "Reaktive processer", som vedrører nedbrydning af phosphorsyreestere fra industrispildevand i et rørreaktoranlæg, er et revideret projekt skabt.

Risøs eksisterende rørreaktoranlæg, som oprindeligt var konstrueret til udvinding af uran fra grønlandsk malm, søges udnyttet til behandling af forurenede materialer. Følgende materialer ønskes behandlet og renses:

- Spildevand,
- forurenede jord,
- kommunalt slam.

Behandlingen udføres i vandigt alkalisk/neutralt medium under O_2 -tilførsel, høj temperatur og højt tryk. Under disse betingelser finder en såkaldt vådfordrøning sted, dvs. organisk materiale omsættes til CO_2 og vand eller simple kulstofforbindelser, som er biologisk let nedbrydelige.

Forsøgene udføres i laboratorieskala i en "loop-autoklave" (designet på Risø), som er dimensioneret til at simulere en proces på Risøs kontinuerlige rørautoklave.

Resultater.

Det udførte arbejde har belyst vådoxidationens egnethed på forskellige former for forurening. Det kan konkluderes, at metoden er velegnet til nedbrydning af en række forskellige organiske stoffer:

- Primær aromatiske aminer (sulfanilsyre),
- organisk stof i kommunalt slam (filtreringshæmmende komponenter).

- p-Cl-creosol,
- parathion,
- polyaromatiske hydrocarboner - PAH,
- PVC.

Derimod nedbrydes/omdannes DDT ved metoden kun til DDE.

De udvalgte stoffer dækker et bredt spektrum af organiske forureningskomponenter, men dette udelukker ikke, at der findes andre stoffer, som ikke kan nedbrydes ved metoden. Idet DDT ikke umiddelbart er nedbrydeligt, må det forventes, at stoffer tilhørende gruppen PCB-polychlorerede biphenyler - heller ikke kan nedbrydes.

Metoden har vist sig velegnet for de oven for nævnte typer affald.

Afhængig af opholdstiden foregår der en hel eller delvis nedbrydning af forureningskomponenterne, hvorved de gøres vandopløselige. Forureningen flyttes således til vandfasen. I tilfældet jord vil en filtrering give et rensset produkt, hvorefter filtratet kan behandles biologisk. Det har vist sig, at biologisk unedbrydelige stoffer ved autoklaveprocessen bliver omdannet til letnedbrydelige.

Den biologiske efterbehandling bevirker, at procestiden kan holdes under 30 min. Afhængig af forureningstypen er temperaturintervallet 200-260°C, iltpartialtrykket 5-50 bar og totaltrykket 19-95 bar.

Fordelene ved vådoxidation er, at emission af kvælstofilter, HCl, SO₂, dioxin let undgås. Ved processen dannes ingen aske, og jorden er i en tilstand, der muliggør en tilbagelevering til oprindelsesstedet. Spildevandet kan sendes til et normalt rensningsanlæg, og slammet bliver sterilt, konditionerbart og lugtfrit.

Metoden har desuden vist sig velegnet for opløsning af visse metaller f.eks. Cr, Cu og As. I det videre arbejde vil også andre metaller blive inddraget.

I 1988/89 planlægges i samarbejde med NKT længerevarende forsøg i pilotskala på det eksisterende rør anlæg samt projektering af et eller flere større rørreaktoranlæg.

2.2. Indpasning af større absorptionskølemaskiner i det danske energisystem (EM j.nr. 1223/86-6)

Næsten al køling i Danmark udføres hovedsageligt ved hjælp af kompressionskøleanlæg, men der findes enkelte absorptionskøleanlæg. Sådanne anlæg kan udnytte overskudsvarme fra forbrændingsanlæg, industri m.v. som drivenergi og dermed give mulighed for elbesparelse. I samarbejde med Forsøgssektionen og Elektroteknikafdelingen på Risø samt Sabroe A/S udføres for tiden et projekt med henblik på at undersøge de potentielle muligheder for at benytte absorptionskøleanlæg og give et overslag for rentabiliteten.

Som en del af projektet er det eksisterende absorptionskøleanlæg på Herlev Sygehus forsynet med dataopsamlingsudstyr med henblik på at samle praktiske erfaringer og driftsdata fra el anlæg i daglig drift. Der er foretaget dataopsamling igennem sommeren 1987, der beklageligvis var udsædvanlig kold. Dette medførte, at belastningerne på køleanlægget var meget små og aldrig oversteg 60% af den dimensionerede ydelse.

Anlægget på Herlev Sygehus består af to LiBr-vand vandkøleaggregater, hver med en dimensioneret kuldeydelse på 4,6 MW. Varmekilden er vand fra det nærliggende forbrændingsanlæg, Vestforbrændingen, med temperaturer på ca 150°C. Nogle målinger fra den første uge i juli er vist i fig. 2.2.1.

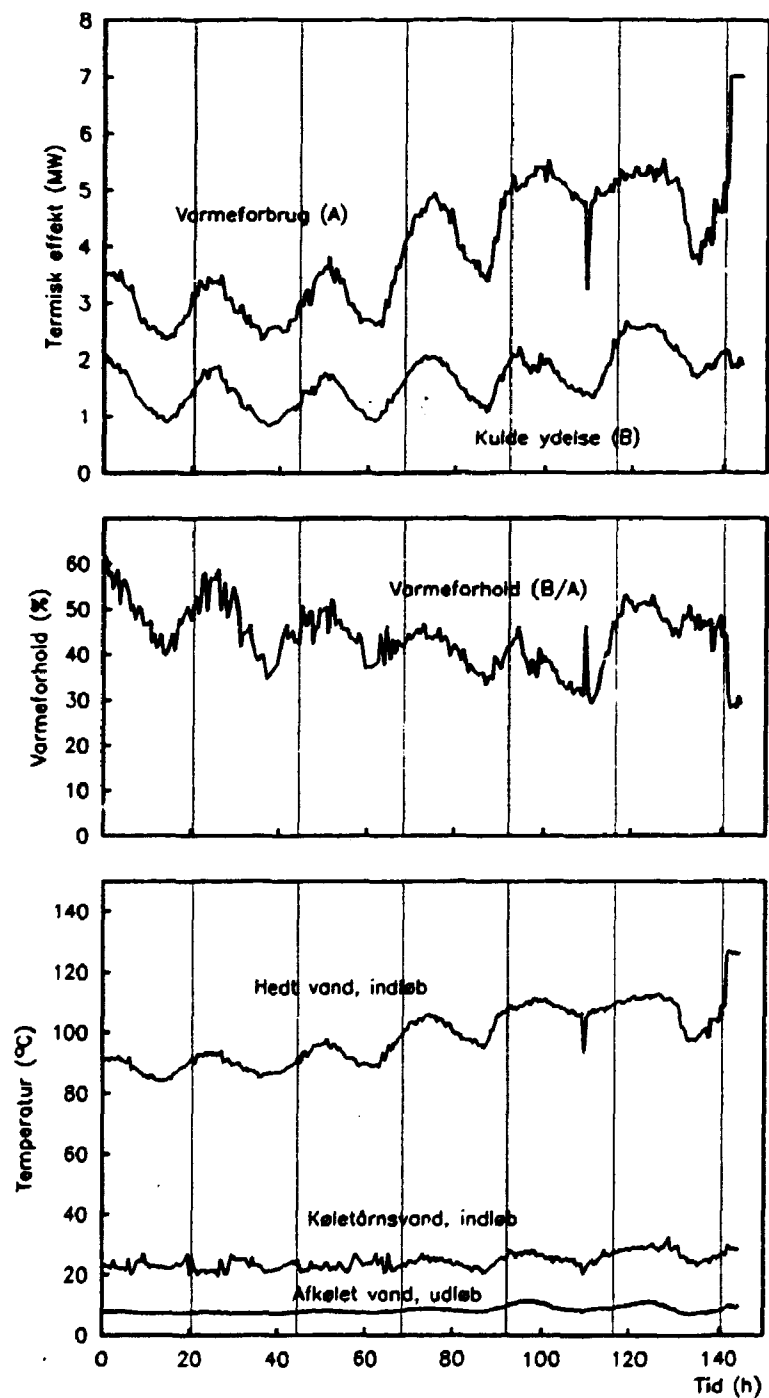


Fig. 2.2.1. Måleresultater for første uge i juli 1987. Starttidspunkt er 2. juli kl. 15.30. Hjälpelinierne angiver kl. 12.00 middag (sommertid). Det afkølede vand er det, som bruges til køling af bygningen.

Varmeforbrug, kuldeydelse og varmekorhold udviser en tydelig 24 timers periodicitet, der skyldes døgnavariationerne i belastningen på køleanlægget.

Idet flowet af de tre ydre vandkredsløb (hedt vand, køletårns- vand og afkølet vand) igennem absorptionskølemaskinen er konstante, er variationerne i de ydre driftsbetingelser givet ved temperaturerne af disse vandflow. Hedt-vands-temperaturen udviser den samme døgnavariation som kuldeydelse og varmekorbrug. Temperaturen af køletårnsvandet varierer temmelig kraftigt på trods af, at det automatiske reguleringsudstyr skulle holde denne temperatur konstant. Den udgående temperatur af det afkølede vand, der leveres til sygehusets ventilationsanlæg, holdes derimod temmelig konstant af reguleringsudstyret.

I fig. 2.2.2 er vist varmekorbruget og kuldeydelsen som funktion af hedt vands indløbstemperaturen. Det ses, at varmekorbruget afhænger tilnærmelsesvis lineært af hedt-vands-temperaturen. Kuldeydelsen afhænger ligeledes af hedt-vands-temperaturen, men med langt større variationer. Restvariationerne imellem måleresultaterne og de i fig. 2.2.2 indlagte lineære regressionslinier kan ikke forklares ved variationer i de to andre temperaturer.

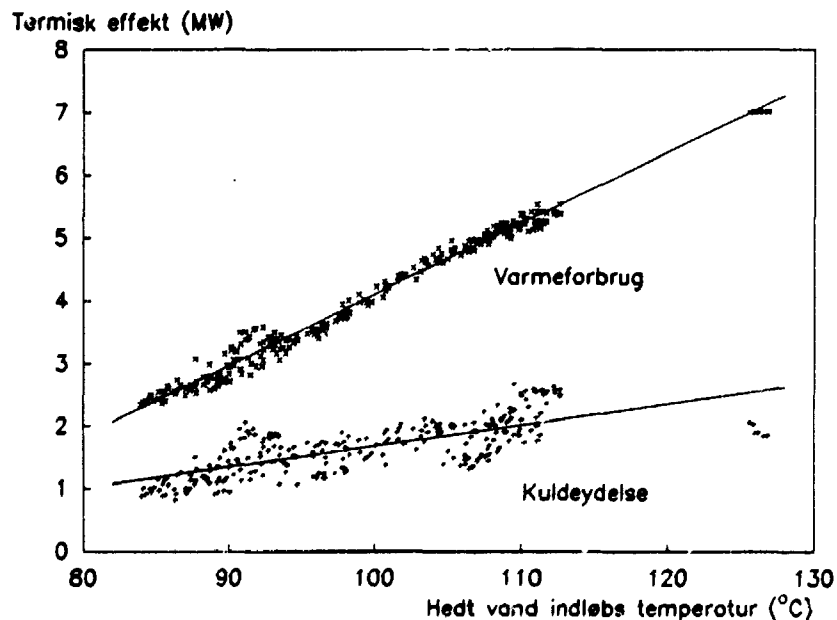


Fig. 2.2.2. Varmeforbrug og kuldeydelse som funktion af hedt-vands-indløbstemperatur.

Som det fremgår af fig. 2.2.3 er restvariationen af kuldeydelsen meget tidsafhængig med en tydelig døgnvariation. Dette betyder populært sagt, at absorptionskøleanlæggets ydelse ud over de øjeblikkelige driftsbetingelser er afhængig af, hvorledes driftsforholdene var "for lidt siden". Anlægget har altså dynamiske egenskaber. Dette indikerer, at de ydelser, der opnås i praksis, vil afvige fra ydelser ved drift under konstante forhold.

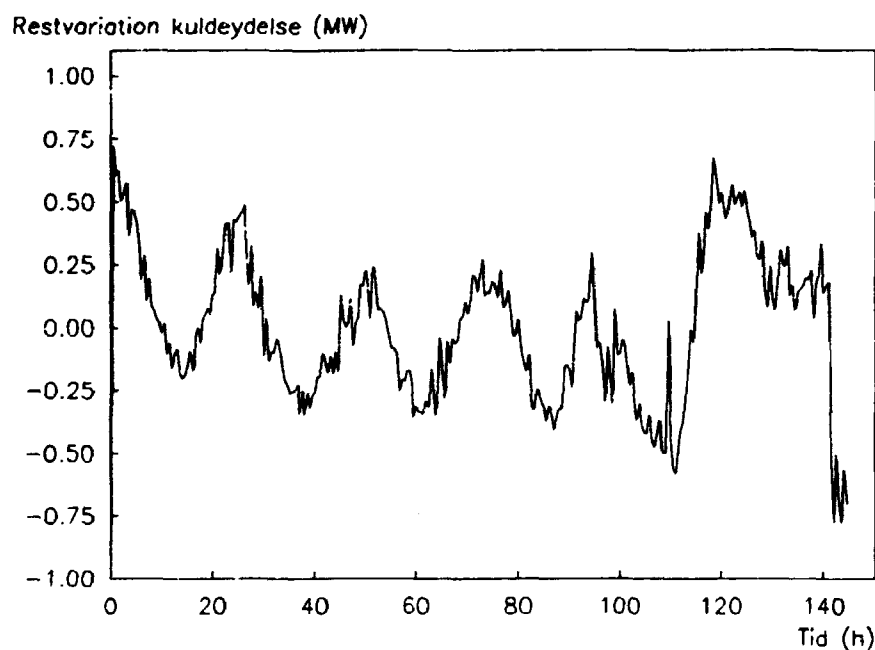


Fig. 2.2.3. Restvariation af kuldeydelse som funktion af tiden

OMRÅDE 3: ENERGIANVENDELSE I JORDBRUGSSEKTOREN

3.1. Udnyttelse af symbiotisk kvælstofbinding i planteavl (EM j.nr. 2244-404)

Energiproblematikken og dennes afspejling i forøgede omkostninger til kvælstofgødning var den primære årsag til, at der på landbrugsafdelingen blev påbegyndt et projekt omkring biologisk kvælstofbinding. Senere hen har betænkeligheder ved anvendelse af kvælstofgødning, overproduktion af korn og mangel på proteinrige afgrøder i EF gjort det yderligere aktuelt med forøget forskning omkring biologisk kvælstofbinding.

Projektet, der fortsætter på landbrugsafdelingen, har fået økonomisk støtte fra de energiministerielle forskningsprogrammer siden 1980, men fra og med marts 1987 er støtten ophørt.

Den største del af arbejdet har været udført med ærter, der som frøbælgplante har påkaldt sig særlig interesse i de senere år. Således er arealet steget voldsomt såvel i Danmark som i EF (fig. 3.1.1) Ært er ustabil med hensyn til udbytte (fig. 3.1.2.), og mange af de forskningsmæssige tiltag har derfor som formål at forbedre udbyttestabiliteten. I 1987 har der været arbejdet med følgende delprojekter:

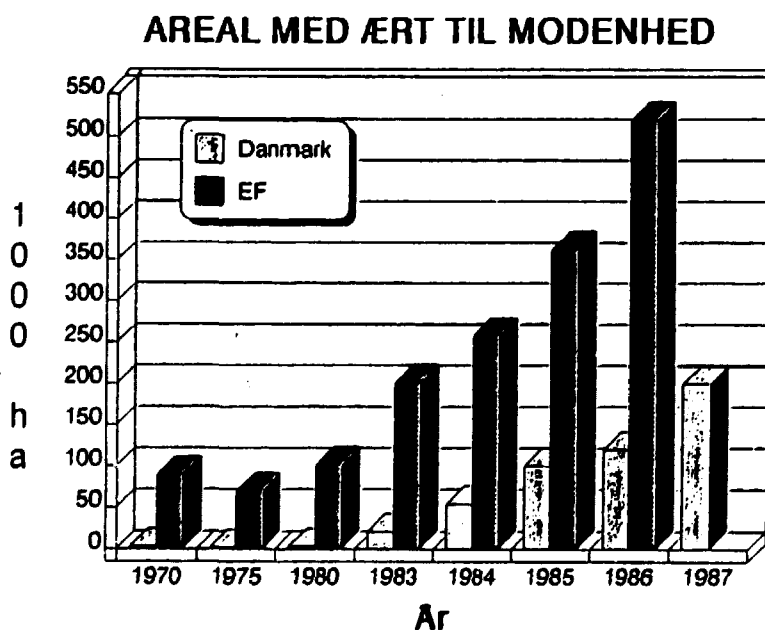


Fig. 3.1.1.

UDBYTTE AF ÆRT

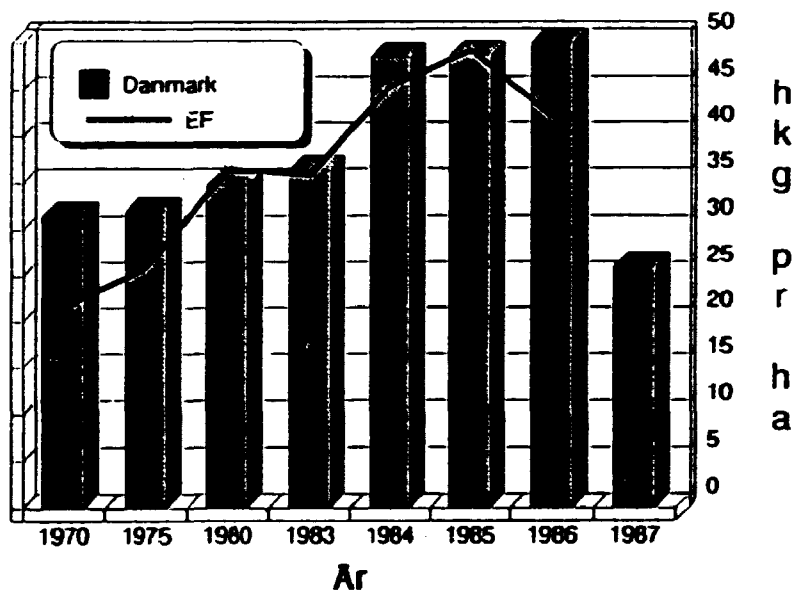


Fig. 3.1.2.

Ærtmutanter.

Mutanter af ært, som ikke kan binde kvælstof, er i de foregående år fremstillet og opformeret. Mutanterne er under fysiologiske og genetiske analyser for at kunne identificere og karakterisere arveanlæg, der har betydning for symbiotisk kvælstofbinding. Det har vist sig, at de fleste mutanter er recessive og muteret i forskellige arveanlæg.

Kvælstofbindingens fysiologi.

Undersøgelser har vist en positiv sammenhæng mellem ært-Rhizobium symbiosens N_2 -binding og rodknoldenes kapacitet til at optage kuldioxid (CO_2) ved fosfoenolpyruvatcarboxylase (PEPC)-aktivitet. Aktiviteten er således fundet ca. 10 gange højere i selve rodknoldene end i rødderne.

Studier af den respiratoriske effektivitet under ært-Rhizobium symbiosens forløb viser normalt en fast, respiratorisk CO_2 -udskillelse pr. aktivitetseenhed. Der er dog fundet genetiske afvigere såvel med hensyn til en mindre CO_2 -udskillelse som til forskel i kvælstoftransportstoffer fra rodsystemet til toppen.

Mykorrhiza.

Vesikulær-arbuskulær-mykorrhiza (VAM) spiller en vigtig rolle i ærts fosfor (P)-optagelse og dermed også på kvælstofbindingen. Der er udført såvel mark- som karforsøg til belysning af betydningen af VAM. Mod forventning var såvel total- som specifik rodrespiration upåvirket af en kraftig VAM infektion.

Eftervirkning af ært dyrket til modenhed.

Ært efterlader normalt mere nitrat i jorden efter høst end kvælstofgødet korn. Der gennemføres flerårige markforsøg til belysning af, hvorledes man bedst kan udnytte og/eller nedsætte mængden af efterladt kvælstof efter ært.

OMRÅDE NR. 5: OLIE OG NATURGAS

5.1. Karakteriseringslaboratorium (EM j.nr. 1313/85-6 og 1313/86-8)

Med baggrund i bevillinger fra EFP-85 og EFP-86 har Kemiafdelingen gennem de sidste par år været i gang med opbygningen af et laboratorium til karakterisering af kulbrinter (olie og gas). Etableringen af laboratoriet er foregået parallelt med opbygningen af et PVT laboratorium ved Institut for Kemiteknik, DTH. Disse laboratorier, PVT-laboratoriet og Karakteriseringslaboratoriet komplementerer hinanden og udgør tilsammen et dansk kulbrintelaboratorium for forskning og udvikling af nye analyse og beregningsmetoder til beskrivelse af råoliers og naturgasers kemiske og fysiske egenskaber. Oplysninger om disse egenskaber anvendes ved såvel bassin- og reservoir simuleringer som under egentlige produktionsforhold. PVT-laboratoriet beskæftiger sig primært med bestemmelsen af kulbrinteblandingers fysiske egenskaber og termodynamiske forhold, herunder relationer mellem tryk (P), volumen (V) og temperatur (T) - såkaldte fasediagrammer, mens Karakteriseringslaboratoriet især udfører kemiske analyser til beskrivelse af kulbrinteblandingers sammensætning.

Karakteriseringsanalysen består af en række forskellige trin, som hver især giver detailoplysninger om prøvens sammensætning og egenskaber. Råolie er sammensat af mange hundrede enkeltforbindelser med meget varierende egenskaber, hvorfor det ofte er hensigtsmæssigt først at opsplitte olien i en række mindre fraktioner med en begrænset fordeling af komponenter og egenskaber. Til dette formål anvendes fraktioneret destillation, som inddeler olien i en række fraktioner efter stigende kogepunkt. De enkelte fraktioner kan derefter analyseres og deres egenskaber og kemiske sammensætning bestemmes. Det drejer sig om bestemmelse af massefylde, middelmolekylvægt samt indholdet af paraffiner (P), naphthener (N) og aromater (A) for de laveste destillationsfraktioner (PNA-analyse). Relationen mellem de målte egenskaber for de enkelte fraktioner og deres kumulerede volumen/vægt-% angiver fordelingen af forskellige egen-

skaber for hele olien. Det er disse fordelingsfunktioner, der er vigtige ved udviklingen af de matematiske modeller til beregning af olie/gas blandingers egenskaber og sammensætning. Modellerne (tilstandsligninger) udvikles på grundlag af de termodynamiske relationer (PVT), mens tilpasningen sker ved hjælp af de omtalte fordelingsfunktioner.

Karakteriseringslaboratoriet har i den første fase af projektet (1985-87) arbejdet med etablering af metoder til bestemmelse af fordelingsfunktioner for kogepunkt, massefylde og middelmolekylvægt for råolier. Desuden er der indarbejdet en metode til analyse af de lavestkogende fraktioners PNA-indhold ved hjælp af gaschromatografi (GC). Hvad angår destillation og molekylvægtsbestemmelse anvendes traditionelle metoder. Destillationen udføres som en såkaldt TBP-analyse (True Boiling Point) efter ASTM D2892, og molekylvægtsbestemmelsen sker ved hjælp af kryoskopi (måling af frysepunktssænkning). Ved måling af massefylde anvendes et automatisk densitometer, som efter forudgående kalibrering selv udregner massefylden af prøven. Denne metode giver i modsætning til tidligere anvendte målinger med hydrometre/pyknometre en meget hurtig og sikker bestemmelse af massefylden.

Den kemiske sammensætning af de laveste (op til C_{10}) destillationsfraktioner udføres som en PNA-analyse ved hjælp af gaschromatografi eventuelt i kombination med massespektrometri (MS). For hver fraktion foretages en chromatografisk adskillelse og identifikation af enkeltkomponenter for at bestemme, hvilken gruppe (P/N/A), komponenten tilhører (se fig. 5.1.1. Til slut beregnes den relative fordeling mellem de tre grupper. Denne fordeling er af stor betydning ved tilpasningen af tilstandsligningens vekselvirkningsled.

Den anden fase af projektet (1986-88) omfatter analyse af den kemiske sammensætning af højerekogende ($C_{10}+$) destillationsfraktioner ved hjælp af væskechromatografi (LC). Desuden arbejdes der på at udvikle en ny og bedre metode til molekylvægtsbestemmelse ved hjælp af størrelseschromatografi (SEC). Simuleret destillation er en anden chromatografisk analysemetode, der

ønskes undersøgt som alternativ til den meget tids- og ressourcekrævende TBP destillation. Imidlertid vil dette kræve anskaffelse af nyt udstyr i form af højtemperatur-GC eller Supercritical Fluid Chromatography (SFC).

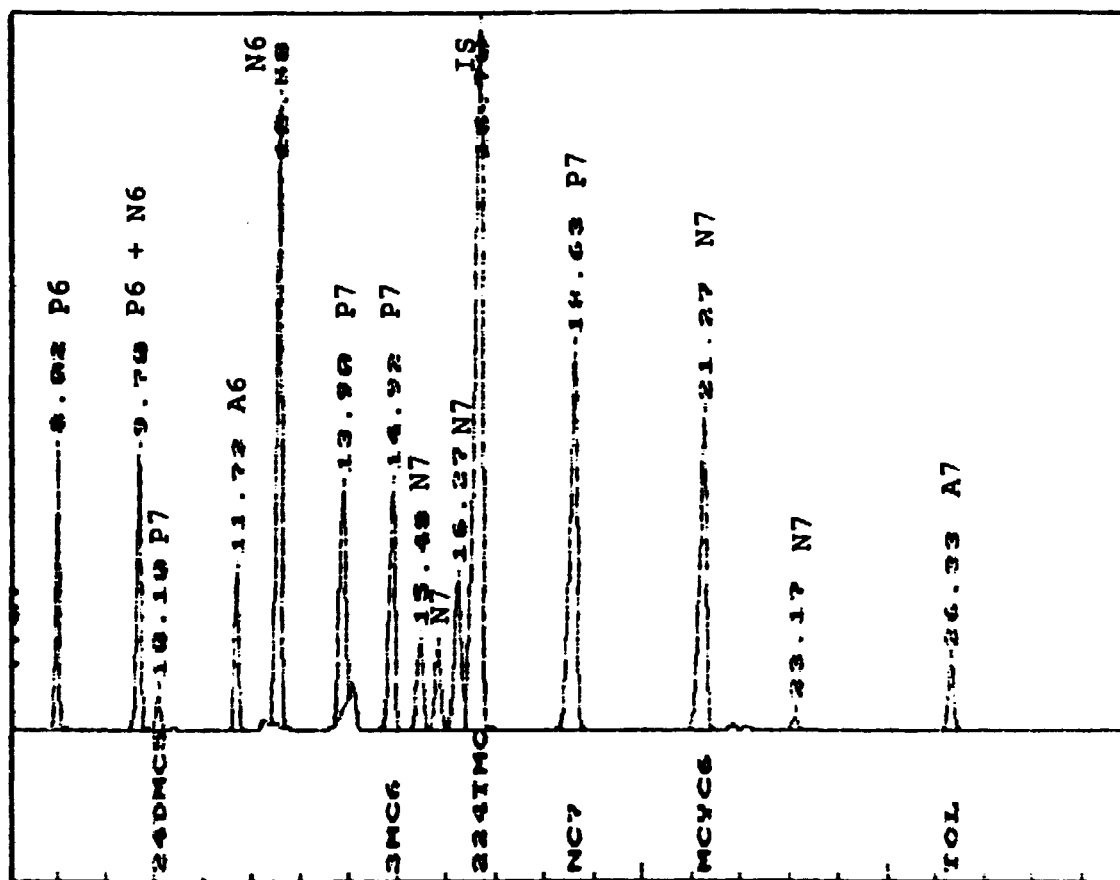


Fig. 5.1.1. Eksempel på gaskromatografisk PNA-analyse. Kromatogrammet viser fordelingen af paraffiner (P), naphthener (N) og aromater (A) i en C₇-destillationsfraktion: P6 = C₆ paraffin, N7 = C₇ naphthen osv. IS = intern standard.

5.2. Geokemiske kriterier for reservoirkvalitets-variationer i Nordsø kalk. (EM j.nr. 1313/86-5)

Formålet med EFP-86 projektet er at sammenligne sporstofelementfordelingen i borekerner fra Tyra strukturen med reservoirkvalitetsparametre beregnet fra borehulslogging. Parametre af stor interesse er her kalklagenes porøsitet og permeabilitet, der regionalt kan variere betydeligt. Grunden herfor er hovedsageligt processer i kalken efter dens afsætning på havbunden, som oftest er sammenfattet under fællesnavnet diagenese, dvs. mineralomdannelser i bjergarter, som sker over lang tid (geologiske tidsrum). En statistisk sammenligning af analytiske og petrofysiske data vil kunne bidrage til at forklare bl.a. reservoirkvalitetsvariationer i den gasførende Tyra struktur, hvor der er konstateret regionale variationer. De geokemiske data skal desuden anvendes til at definere lithostratigrafiske markører, dvs. definere lagserier med anormalt sporelementindhold.

Det 3-årige EFP-86 projekt er et samarbejde med Danmarks Geologiske Undersøgelse og Mærsk Olie & Gas A/S. Kemiafdelingen har projektledelsen og er også ansvarlig for koordineringen af et nært beslægtet EFP-86 projekt, som gennemføres på Geologisk Centralinstitut, Københavns Universitet.

I 1987 afsluttedes supplerende sporstofelementanalyser fra Tyra borekernen TWB-8 ved hjælp af instrumentel neutronaktivering. Et detailleret analyseprogram for borekernen fra den marginale del af strukturen (borekerne E-1x) er også sat i gang, og måling af 39 prøver gennemførtes i 1987. Beregningsarbejdet afsluttes i løbet af 1988. Danmarks Geologiske Undersøgelse har leveret kernebeskrivelse af den undersøgte sektion. I årets løb har det været muligt at modernisere mineralanalysegruppens aktiveringsanalyseudstyr ved DR3.

5.3. Karakterisering af kerogen til bestemmelse af aktiverings-data for kulbrintefrigørelse ved bassinmodellering, FASE 1 (EM j.nr. 1313/87-2).

Fase 1 af dette program har udelukkende haft til hensigt at opbygge den nødvendige laboratorie facilitet. Oprindeligt var et større program (2.000 kkr. over 3 år) forudset, men dette blev beskåret til 500 kkr. i 1987, hvorfor denne fase kun skulle betragtes som opbygningsfasen.

Bestemmelsen af aktiveringsdata for kulbrintedannelse fra kerogen baseres på pyrolyse-gaschromatografi. Udstyret hertil er indkøbt og leveret i løbet af sidste halvdel af 1987. Udstyret er bygget op af en Hewlett-Packard gaschromatograf med tilhørende datamat samt PYROLA pyrolyseenhed. Systemet er på nuværende tidspunkt færdigopbygget, og indkøringen er i store træk tilendebragt.

Arbejdet med fastfase kinetiske studier er påbegyndt, hvilket i øvrigt ikke var forudset i programmet, og vi er på nuværende tidspunkt i princippet "køreklare". Der arbejdes for tiden med en afprøvning af en kinetisk model, der skulle være en væsentlig forbedring sammenholdt med tidligere arbejder, hvor første-ordens kinetik blev antaget. Vi er her i gang med at udvikle det nødvendige soft-ware. Disse studier foretages i næste fase af programmet under EFP-88.

5.4. Reservoirsimulering (EM j.nr. 2251-410)

Reservoirsimulering er en metode til at forudsige olie- eller gasreservoirers opførsel ved forskellige indvindingsstrategier. Værktøjet er et edb-program, en reservoirsimulator, der søger at modellere de fysiske processer, som bestemmer reservoirrets opførsel. Reservoirsimulatoren gør det muligt at foretage en integreret behandling af alle relevante data. Ved simulering af indvindingsforløbet ved en række scenarier,

dvs. under forskellige forudsætninger vedrørende feltudbygning og indvindingsmetoder, er det formålet at fastlægge en optimal indvindingsstrategi.

Risø har i 1987 udført en række opgaver på området i samarbejde med Laboratoriet for Energiteknik (LfE), DTH, Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU) og Dancomp Aps. Arbejdet har delvist været finansieret af EFP-midler suppleret med en egenindsats af samme størrelsesorden, finansieret af Risøs basisbevilling. Arbejdets hovedpunkter har i 1987 været:

- Udvikling af en basismodel, den tredimensionale, dobbeltpermeable, fuldt compositionelle reservoirsimulator, COSI, som er afsluttet. Tre rapporter (Risø-M-2625/2686/2687) er udsendt i 1987. Disse illustrerer COSI's anvendelse som black-oil simulator og som fuldt kompositionel simulator samt effekter af netorientering og anvendelse af irregulært netværk. Hertil kommer undersøgelser af regnetider på en række forskellige computere.
- Grundlaget for en bedre beskrivelse af strømning i opsprækkede strukturer søges skabt gennem forsøg i laboratorieskala (DTH) og sammenlignende beregninger med ECLIPSE (Risø). En rapport om endeeffekter (Risø-M-2653) er udsendt. Arbejdet sigter mod en grundlæggende forståelse af fænomenerne.
- I samarbejde med Dancomp Aps. arbejdes med udviklingen af modeller for simulering af opsprækkede reservoirer. Udviklingen bygger på COSI (se ovenfor) og sigter mod en beskrivelse i feltskala med den heraf følgende grove netinddeling. Arbejdet er anvendelsesorienteret og supplerer oven for nævnte mere grundlæggende undersøgelser.
- I samarbejde med DGU og LfE (DTH) arbejdes på en metode til bestemmelse af relative permeabiliteter ved transiente kernemålinger. De målte data tænkes opsamlet på en datamat, hvor fortrængningsmodeller er indlagt og de relative permeabiliteter bestemmes ved regressionsanalyse.

Det er hensigten at videreudvikle den omtalte simulator COSI på en række punkter. Det er desuden hensigten at undersøge mulige indvindingsforbedrende metoder for de danske kalkreservoirer. Uanset hvilken metode, der er tale om, er det helt afgørende, at effekten af opsprækning behandles tilstrækkeligt godt, og at simulering i feltskala gennemføres.

5.5. Bassinmodellering (EM j.nr. 1313/87-3)

Bassinmodellering sigter mod en beskrivelse af de sedimentære bassiners historie, herunder kulbrinters dannelse, migration og akkumulation. Værktøjet er et edb-program, der modellerer de væsentligste geologiske processer og muliggør en integreret behandling af alle relevante data.

Det er formålet at få en forbedret baggrund for at fastlægge de områder, hvor kulbrinteforekomster er mest sandsynlige.

Risøs arbejde har i 1987 været udført i nært samarbejde med DGU, DOPAS, DTH, Aarhus Universitet, Københavns Universitet, Energistyrelsen (ENS) og Energiministeriet (EM). Et arbejde rettet mod modeludvikling har været finansieret af EFP-midler, suppleret med en egenindsats, finansieret af Risøs basisbevilling. Konkrete bassinstudier for dansk område er samtidig påbegyndt, finansieret af EM, ENS, DGU, DOPAS og Risø.

Arbejdets hovedpunkter i 1987 har været:

- Videreudvikling af den på Risø udviklede éndimensionale bassinmodel.
- Undersøgelser af den erhvervede en-to-tre dimensionale bassinmodel (se nedenfor) med henblik på forbedringer og videreudvikling.

I forbindelse med de igangværende bassinstudier for dansk om-

råde, der foregår i samarbejde med de udenlandske konsulenter, G. Speers og A. Yüklér, er der fra A. Yüklér erhvervet en 3-D bassinmodel. De igangværende studier finansieres hovedsageligt af de deltagende parter, medens videreudviklingen af modellen for en større del finansieres af EFP-midler.

5.6. Stor-skala laboratorieforsøg vedrørende 2-fase olie-gas flow i rørledninger (EM j.nr. 1313/87-1)

Et kombineret teoretisk og eksperimentelt studie af skilleflade-friktionen i to-fase lagdelt strømning er blevet udført som et fælles projekt af Forskningscenter Risø, LICconsult og Institut for Strømningsmekanik og Vandbygning (ISVA).

Eksperimenterne er udført i en forsøgsfacilitet placeret hos ISVA. Forsøgsopstillingen består bl.a. af et ca. 50 m langt rør med en forsøgsstrækning på 36 m og en diameter på 90 mm. Forsøgssektionen er gennemsigtig på visse strækninger, således at strømningsmønstret kan iagttages.

Risø har instrumenteret forsøgsopstillingen og forsynet den med et computerstyret dataopsamlingssystem. Alle måleresultater blev opsamlet på disketter for senere bearbejdning på computer.

Eksperimenterne er udført med vand/luft blandinger i vandrette og næsten vandrette rør. Hældningen i strømningsretningen har været mellem 0.5° opad og 1.0° nedad.

Den ækvivalente skillefladeruhed er blevet beregnet ud fra måling af væske- og gashastigheder, trykgradient og væskehøjden i røret. Skillefladeruheden varierer mellem 0 og 90 mm. Endvidere er det vist, at tryktab og liquid holdup ikke er følsom over for variationer i skillefladeruheden.

Projektet er afsluttet og rapporteret i Risø-M-2690.

OMRÅDE NR. 6: KUL

6.1. Karakt risering af polycyclisk organisk materiale
(POM) i røggasser fra kulfyrede forbrændingsanlæg
(EM j.nr. 22528-418)

Polycyclisk organisk materiale (POM) er en kompliceret kemisk sammensat stofgruppe. Luftforureningen med disse forbindelser er i søgelyset grundet forbindelsernes kræftfremkaldende egenskaber.

Hovedgruppen, polycycliske aromatiske kulbrinter (PAH) er opbygget af kondenserede benzen-ringe.

PAH dannes ved forbrænding, f.eks. af kul, olie, benzin, træ, halm og gas. Dannelsesmængden afhænger af forbrændingsbetingelserne. Den mindre forbrændingseffektivitet i de fleste mindre forbrændingsanlæg giver således en højere PAH-koncentration i røggassen, end den der observeres fra store forbrændingsanlæg, f.eks. kraftværker.

De mest betydningsfulde kilder til luftforurening med PAH er biler og boligopvarmning. Bidraget fra biltrafikken er således vurderet til 27% ved Risø, 59% i et boligområde og 88% i en tæt trafikeret gade.

Koncentrationen af benz(e)pyren i røggassen fra Risøs to fluid-bed anlæg har typisk været omkring $0,2 \text{ mg/m}^3$. Man må forvente, at en grænseværdi for benz(e)pyren bliver omkring 10 mg/m^3 , hvis denne skal have almen praktisk anvendelighed. Målingerne har omfattet bestemmelse af 18 PAH forbindelser i både gasfase og som partikelassocieret. Undersøgelsen afsluttes med bestemmelse af indholdet af PAH i røggassen ved fluid-bed forbrænding af en blanding af halm og kul for at få belyst indflydelsen af halm.

6.2. EDB model vedrørende miljøeffekter ved energi- produktion (EM j.nr. 1323/85-17)

Projektet har til formål at udvikle programsystemet ECCES som anvendes til bedømmelse af de miljømæssige konsekvenser over en længere periode af et givet valg af energisystem. Vægten i programmet er lagt på undersøgelsen af luftbåren forurening fra energiproduktion.

På nuværende tidspunkt består ECCES af moduler, der kan behandle:

- Spredning i atmosfæren af forurening stammende fra punkt- eller fladeformede emissionskilder.
- Depositionen på jord og afgrøder samt optagelsen af diverse stoffer i en afgrøde.
- Et modul, der beskriver de kemiske følger af en eventuel øget forsurening af jordbunden og de deraf følgende ionkoncentrationer i jordvæsken.

For at verificere jordbundsmodulet er der i løbet af 1987 blevet lavet en lang række modelberegninger til sammenligning med eksperimentelle forsøg. På grund af opgavens omfang foreligger resultaterne endnu ikke i en form, der kan publiceres.

Derimod er jordbundsmodulet i årets løb blevet forbedret på et par punkter: Beregningsmetoden for tungmetallers adsorption og desorption fra jordmateriale er blevet forbedret, og en funktion, der beskriver carbondioxid-indholdet i jorden er blevet introduceret, fordi CO₂ koncentrationen i jorden er af betydning for en troværdig pH-bestemmelse, når pH er større end 4. Endelig er en temperaturafhængighed blevet indført for en del kemiske processers reaktionshastighed.

Sideløbende med ovennævnte er der blevet arbejdet på en skovmodel. Der er udarbejdet et meget detaljeret oplæg for de processer, som sker i trækronerne, da disse er væsentlige for modelleringen af gennemdrypsvandets mængde og sammensætning.

Det vil i forbindelse med den praktiske programmering blive tilstræbt, at detaljeringsgraden ikke bliver større end nødvendig.

I en skov spiller organisk materiale en stor rolle som oplagingsplads for næringsstoffer og spormetaller. Derfor er der udført et forstudie af en nedbrydning og frigørelse af organisk materiale og nitrogen fra førnfaldet.

6.3. Anvendelse af jordbundskemimodel på skovjord (EM j.nr. 1323/87-12)

Projektet bygger videre på EFP-85 projektet 1323/85-17 (afsnit 6.2), idet modellen anvendes på skovjord, og beregningsresultaterne sammenlignes med eksperimentelle målinger.

Under projektet samarbejder 3 institutioner: Forskningscenter Risø, Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium og Statens Forstlige Forsøgsvæsen. De indledende trin har især drejet sig om afprøvning af opsamlingsudstyret fra jordvæske og karakterisering af jordprøverne.

Jorden er blevet karakteriseret fysisk ud fra indholdet af ler, silt, fint og groft sand. Desuden er jordens pH-værdi blevet målt. Nogle jordprøver fra henholdsvis Frederiksborg og Ulfborg Skovdistrikt er blevet afleveret til Risø, hvor de bliver analyseret kemisk. Der er målt kationbytningskapacitet (CECV og CECF), men målingen af anionbytningskapaciteten er endnu ikke gennemført. Desuden er der lavet analyse for en lang række metaller i jordprøverne.

Statens Forstlige Forsøgsvæsen (SFF) begyndte med at afprøve de kopper, henholdsvis af teflon og procelæn, som skal opsamle jordvæsken. Det blev undersøgt, om prøven, der bliver udtaget fra koppen, i sammensætning og koncentration svarer til det omgivende vand. Man kunne nemlig forestille sig, at spormetaller adsorberes til koppernes porøse overflade med deraf følgende koncentrations- og tidsmæssige fejl. Det har dog

vist sig, at kopperne ikke har medført nogle nævneværdige problemer. Derfor og på grund af det udsædvanligt milde vejr i vinteren 1987/88 har SFF været i stand til at etablere 46 opsamlingssteder i Frederiksborg skovdistrikt og udtage jordvæskeprøver både i januar og februar.

I Ulfborg er der etableret 10 opsamlingssteder, hvorfra der også er kommet to hold prøver. Disse prøver er ved at blive analyseret ved brug af Risøs VG-Plasmaquad instrument.

Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium har igennem en årække indsamlet nedbør fra friland. I begyndelsen af marts måned opsættes opsamlingsudstyr i Frederiksborg Skovdistrikt for gennemdrypsvand under henholdsvis bøg og gran. Ved den anvendte metode vil resultaterne blive et udtryk for middelgennemdrypsvandets sammensætning over perioder på et år.

Projektet forløber stort set efter tidsplanen, efter hvilken beregningsarbejdet skal begynde i 1989 ved hjælp af modelleringsværktøjet fra EFP-85 projektet: Edb-model vedrørende miljøeffekter ved energiproduktion.

6.4. Afsvovlningsprodukters effekt på plantevækst

(EM j.nr. 1323/85-13)

Den lovmæssigt planlagte rensning af kraftværkers røggas for svovlgasser vil medføre en årlig produktion af 2-400.000 t svovlaffald, de såkaldte afsvovlningsprodukter. Produkterne indeholder forskellige mineraler, bl.a. tungmetaller, samt det for planter giftige sulfit (SO_3^{--}). Ved uhensigtsmæssig deponering af affaldet i nærheden af landbrugsarealer kan der være risiko for, at jorden bliver forurennet med dette affald, f.eks. ved spredning af asken med vinden, eller ved at perkolatet opsuges af planterne.

En sådan forurening vil kunne ændre landbrugsafgrøders kemiske sammensætning, så derfor er der foretaget karforsøg, hvor mineralstofsammensætningen af byg dyrket i jord blandet med forskellige typer af afsvovlningsprodukter er undersøgt. Det er vist, at afsvovlningsmetoden er af stor betydning for, hvorledes affaldet påvirker planternes mineralstofsammensætning, således at afsvovlningsprodukt uden flyveaskeindhold giver en væsentlig øget optagelse af Cu, Mn, Zn, Cr, og især for Se og Cd. Indeholder affaldet flyveaske (blandingen kaldes stabilisat), mindskes mineralstofoptagelsen med øget flyveaskeindhold, men især Se og Cd vil stadig optages i væsentlig større mængder (2-3 gange) end i kontrolplanter.

Plantegiften sulfit iltes i jorden til det ugiftige sulfat, når de rette betingelser er til stede. Undersøgelser har vist, at iltningshastigheden er afhængig af bl.a. pH og jordens vandindhold. Under "normale" forhold vil halvdelen af den sulfit, der blandes i en neutral overfladejord, være iltet i løbet af 1/2-1 uge, hvilket betyder, at omkring 90% af sulfitten er iltet til sulfat i løbet af 2-3 uger.

Undersøgelser af sulfittens giftighed over for majs i vandkulturforsøg viste, at skadevirkningen var pH-afhængig med større skade ved pH 5 (surt miljø) end ved pH 7 (neutralt miljø) og ved så lave mængder som 0,4 g sulfit pr. liter næringsopløsning. I markforsøg med nedfræsning af afsvovlningsproduktet er sulfitten ikke direkte plantetilgængelig, og der kunne - selv ved

mængder på 5 t pr. ha. - ikke observeres nogen skadevirkning på ært og havre. I karforsøg, hvor sulfitten blev udsprøjtet direkte på italiensk rajgræs som ammoniumsulfitoløsning (røg-vaskervand), var der imidlertid en tydelig udbyttenedgang i forhold til udsprøjtning af ammoniumsulfat.

Disse karforsøg er efterprøvet i marken i sommeren 1987. Resultaterne fra markforsøget viste, at ved nedfældning af røg-vaskervand (SO_2 fældet med ammoniumopløsning) i jorden var kvælstofeffekten den samme som ved anvendelse af traditionelle kvælstofgødninger, medens en udsprøjtning på bladene gav stærke svidninger og udbyttenedgang.

På grundlag af resultaterne fra de 2,5 år, som projektet har løbet over, kan vi afsluttende konkludere:

De anvendte afsvovlningsprodukter, som er repræsentative for den forventede produktion i Danmark, har ikke givet anledning til skadelige effekter på afgrøderne, når følgende betingelser er opfyldt:

1. Den tilførte mængde må ikke være så stor, at den giver anledning til saltskade på planterne, og
2. tilførslen skal ske på en måde, så der ikke kan ske direkte svidning af bladene.

Hvad angår planternes mineralstofindhold, var de eneste biologisk signifikante ændringer for nogle af produkternes vedkommende en stigning i indholdet af cadmium - dog under grænseværdien for cadmium i fødevarer - samt en øgning af selenindholdet, men fra et mangelniveau til et ønsket niveau set fra et ernæringsmæssigt synspunkt.

6.5. Eksperimentelle undersøgelser af kulstøvsbrænder (EM j.nr. 1323/87-1)

En række bestræbelser foretages i disse år for at nedsætte emissionen af forurenende stoffer fra forbrændingsanlæg. Blandt andet tilstræbes der en nedsættelse af NO_x emissionen fra kul-

støvsforbrænding. Dette kan ske, enten ved at anvende specielt konstruerede brændere eller ved påbygning af røggasrensingsanlæg efter kedlen.

Design af low- NO_x kulstøvsbrændere sker i dag hovedsagelig ud fra empiriske overvejelser. For at konstruere en god brænder skal en lang række delvis modstridende krav opfyldes. Der ønskes stort reguleringsområde, lav NO_x -dannelse, høj udbrænding og god stabilitet af flammen.

For at få en bedre forståelse af kulstøvsbrænderens funktionsmåde vil der i dette projekt blive udført lokale målinger af fluid-dynamiske og forbrændingsmassige forhold tæt på brændermundingen.

Projektindhold.

Undersøgelserne falder hovedsagelig i tre faser. Opførelse af et kulstøvsfyret forsøgsanlæg, udførelse af målinger på en kulstøvsbrænder og endelig sammenholdelse af måledata med EDB-beregninger.

Tilrettelæggelse af projektet og projektering af forsøgsanlægget er udført i efteråret 1987, mens montage af anlægget sker i foråret 1988.

Forsøgskedlen bygges af 11 cirkulære kalorimetrisk sektioner. Alle sektioner er udstyret med måleporte, så det bliver muligt at udføre lokale målinger i hele kedelrummet.

Kedlen får en diameter på 1.2 meter og en længde på 4.5 meter. Anlægget udstyres til start med en 0.5 MW kulstøvsbrænder fra Vølund Energiteknik. Det er dog muligt at montere brændere med en indfyret effekt på op til 2 MW.

Der vil blive anvendt en datamat til løbende opsamling af forsøgsdata fra kedlen. En række målinger af global karakter vil blive udført, såsom luft- og kulflow, effektafgivelse og overfladetemperaturer.

Til lokale målinger i fyrrummet vil blive anvendt vandkølede prober. Gastemperaturer, strålingsintensitet og gas og partiklers kemiske sammensætning kan måles.

Endelig vil der blive udført forsøg med lasermålinger i kedlen. Det forventes, at disse målinger vil give oplysninger om partikelkoncentrationer, partikelstørrelser og gashastigheder.

6.6. Grundlæggende forbrændingsforskning (EM j.nr. 1323/85-4)

Projektets formål er at opnå en bedre forståelse af de grundlæggende mekanismer ved forbrænding.

På Varmeteknik er en laminarstrømningsovn opbygget. I denne er der foretaget flowmålinger med LDA (Laser Doppler Anemometer) ved aktuelle forbrændingstemperaturer. Skal ovnens forsøgssektion fungere under isoterme forhold, er den maksimale temperatur foreløbig 1100°C. En maksimal temperatur på 1500°C vil senere søges opnået i hele forsøgssektionen.

Undersøgelse af partiklernes forbrændings- og pyrolyseegenskaber skal foregå under veldefinerede partikel/gashastigheder (opholdstider) og temperaturer.

Flowmålinger med et tofarvet lasersystem (LDA) har foranlediget, at ovnen er under ombygning. Dels sker der ændringer i gas/partikel indfødningsmetoden, og dels mindskes gennemstrømningsovnens indre diameter fra 85 til 60 mm af hensyn til flowtilstanden. Et gasblandesystem med gasserne luft, O₂, N₂, CO₂ er under konstruktion.

Når ombygningerne er foretaget, skal flowmønstret i gennemstrømningsovnene nøjere fastlægges. Herefter skal der udføres reaktivitetsmålinger på kul og kokspartikler.

Til støtte af eksperimentelle resultater udvikles en model til beskrivelse af partikelforbrænding.

På Kemiafdelingen foretages flashpyrolyse på kulprøver.

I forbindelse med den her foregående udvikling samarbejdes der med organisationer fra øvrige nordiske lande med henblik på koordination og interkalibrering af resultaterne.

På Kemiafdelingen udferes der spektrokinetiske undersøgelser af kortlivede mellemprodukter. Ved hjælp af pulsradiolyse kombineret med UV-spektrofotometri er der studeret forbrændingskemiske reaktionsmekanismer og målt hastighedskonstanter for udvalgte elementarreaktioner, som foreløber ved forbrænding af kul, olie og kulbrintegasser. For eksempel er reaktionsmekanismen for omdannelse af NO ved reaktion med amino-radikalet NH_2 studeret.

UV-spektre af en række simple alkyl- og alkenylradikaler, som formodes at spille en vigtig rolle ved dannelse af sod, er optaget. Hastighedskonstanter for radikalernes egen reaktioner samt deres reaktioner med ilt er målt.

Endelig er det nu muligt detaljeret at studere dannelsen af CO_2 , som er sidste trin i kul- og kulbrinteoxidationen. Eksperimentelle resultater på dette område imødeses med stor interesse af teoretiske kemikere, som i adskillige år har forsøgt at forklare den observerede tryk og temperaturafhængighed af de målte hastighedskonstanter på basis af semiempiriske modelberegninger.

For at opnå en mere detaljeret viden om reaktionsmekanismer med relation til forbrænding og luftforurening, er der udviklet en ny forsøgsinstrumentering baseret på infrarød spektroskopi ved hjælp af diodelasere. Udviklingsarbejdet er her næsten færdigt, og forsøgsfaciliteten kan herefter anvendes til studier af karakteristiske typer af elementarreaktioner.

Kemiafdelingen har i forbindelse med de forbrændingskemiske forskningsprojekter haft stort udbytte af samarbejde med

højt kvalificerede gæsteforskere, som det har været muligt at invitere med støtte fra Energiministeriet (EFP-85) samt fra EF-Kommissionen (EN3E-0095-DK).

En rapportering foreligger i efteråret 1988.

6.8. Sekretariatsopgaver for kulstyregruppen
(EM j.nr. 1323/86-23)

Risø bistod Energiministeriet med sekretariatsopgaver f.eks. for ministeriets styregruppe for kulforskning og for forskning i industrielle processer. +)

+) Denne tidligere organisationsform er i foråret 1987 blevet afløst af et system af 8 forskningsudvalg, hvor Risø har sæde i de 5.

OMRÅDE NR. 8: FUSION

8.1. Det generelle fusionsforskningsprogram på Risø

(EM j.nr. 1343/85-2

EM j.nr. 1343/86-1)

fysikafdelingens plasmafysiksektion varetager opgaver, som spænder fra grundlæggende plasmafysik til fusionsrelateret forskning og udvikling. Aktiviteterne er en del af det fælleseuropæiske fusionsprogram, som koordineres af Euratom og omfatter dels associeringsaftaler med de nationale laboratorier, dels det fælleseuropæiske forsøgsanlæg JET. Arbejdet vurderes løbende af internationale komitéer.

1987-programmet har omfattet følgende arbejdsområder:

1. Grundlæggende plasmafysiske undersøgelser med relevans for fusionsforskning. Dette arbejde omfatter eksperimentelle undersøgelser, teoretiske studier og beregninger på store computerfaciliteter. Arbejdet koncentrerer sig om turbulens og turbulent diffusion i plasmaer, der er holdt indesluttet i magnetfelter.
2. Undersøgelser af vekselvirkningen mellem piller af fusionsbrændstof (deuterium) og plasmaer. Dette er i det væsentlige et teoretisk arbejde, hvor man prøver at lave modeller for vekselvirkningen og verificere disse modeller ved sammenligning med resultater, der er opnået i de store tokamak eksperimenter inden for det europæiske fusionsprogram.
3. Udvikling af hurtige pilleinjektorer for JET. JET er interesseret i at injicere deuteriumpiller i et plasma med hastigheder omkring eller over 5 km/s. På Risø arbejdes der med at opnå store pillehastigheder ved at accelerere pillerne i et løb ved hjælp af et gastryk, der dannes ved en gnistudladning bag pillerne. Undersøgelserne i 1987 har ført til hastigheder på ca. 2 km/s, men de har også vist, at det er meget svært at nå højere hastigheder.

4. Deltagelse i forskningsprogrammet ved JET. Risøgruppen har været med til at løse forskellige andre specialopgaver for JET. Medlemmer af gruppen har i den forbindelse opholdt sig ved JET i kortere tidsrum.

8.2. Pilleinjektorsystemer og overfladefysik

(EM j.nr. 1343/85-1)

1. Design af flerskudspilleinjektorer.

I vort samarbejde med laboratorier i Italien er vi blevet anmodet om at designe/udvikle flerskudsinjektorer for to store nye eksperimenter, et eksperiment i Padova (ca. 25 piller med hastigheder op til 1200 m/s inden for 0.25 sek.) og et eksperiment i Frascati ved Rom (8 piller med hastigheder op til 1200 m/s inden for 1,5 sek.).

Vi har designet en injektor egnet for ovenstående opgaver og derefter foreslået, at vi først bygger en prototype af en sådan injektor. Der er afgivet tilbud fra Risø på dette prototypearbejde, og vi forventer, at aftalen går i orden i foråret 1988, hvorefter Risø skal give tilbud på det egentlige arbejde et år senere.

Vort design blev første gang præsenteret i Italien i maj 1987. Vi har siden da arbejdet på at forbedre vort design, så vi bedre er forberedt på det egentlige prototypearbejde

2. Overfladefysik.

Studierne af erosion af kondenserede gasser er fortsat, og en ny licentiatstuderende er begyndt. Hovedvægten er lagt på studiet af luminescens fra elektron-bestrålet fast deuterium og erosion af fast deuterium med energetiske ioner eller elektroner.

OMRÅDE NR. 10: VINDENERGI

10.1. Prøvestationens EFP-status ultimo 1987

(EM j.nr. 1364/86-2

EM j.nr. 1364/87-2)

En intensivt instrumenteret Danwin 180 kW vindmølle har været opstillet på Prøvestationen gennem hele 1987 og anvendt i forbindelse med gennemførelsen af flere af forskningsprojekterne. Disse er samlet rapporteret under ref. 10.1.1.

Rotor aerodynamik

Det er projektets formål at opnå bedre fysisk forståelse af aerodynamikken for en rotor samt at kunne beskrive den tre-dimensionale strømning med det sigte at udvikle metoder til design af profiler og rotorere.

Der er foretaget målinger på en stillestående vinge på aerodynamiktårnet og bestemt flap og kantmomenter (opdrift og modstandskoefficienter) i hele det relevante indfaldsvinkelområde ved forskellige Reynoldstal (vindhastigheder). Målingerne er sammenlignet med tilsvarende to-dimensionale data fra vindkanalmålinger, og et program er opbygget til at regne tredimensionalt på hele vinger. Programmet omfatter dog ikke "stallområdet".

Målingerne på det stillestående blad belyser de aerodynamiske forhold, når centrifugalkraft og radiær trykgradient fra rotationen er udeladt. For at undersøge forholdene under drift (rotation), er der foretaget en detaljeret måling af løstfordelingen på et blad på Danwin-møllen. Dette er gjort ved momentmålinger i fire forskellige snit på bladet sammen med en bestemmelse af aksialtrykket ud fra momentmålinger i bunden af tårnet. Det har derved været muligt at beregne, hvordan opdrifts- og modstandskoefficienterne fordeler sig ud langs bladet. Det har vist sig, at der sker en væsentlig "modifikation" af de to-dimensionale profildata, idet målingen/beregningen viser, at opdriften på tip-enden af bladet er mindre og i rod-

enden større end svarende til de to-dimensionale data. Dette forklarer bl.a., hvorfor vindmøller generelt staller senere end beregnet, og at der ikke opstår pludselige fald i de flap-vise bladmomenter og i aksialtrykket.

Det er sandsynligvis centrifugalkraften og den radiære trykfordeling, som påvirker strømmingen og medfører det forsinkede stall ved rodenden af bladet.

Et blad på Danwin-møllen har været monteret med båndler, således at strømmingen ved hjælp af et medroterende video-kamera kan visualiseres. Optagelserne er foretaget samtidig med, at der er målt belastninger på bladet, således at strømningsbilledet kan korreleres med belastningen, omdrejning for omdrejning. Optagelserne har givet et indtryk af separationens fordeling (stallets udbredelse) og variation på bladet ved forskellige vindhastigheder. Under samme forhold er der foretaget aerodynamiske beregninger med en sædvanlig blad-element model og samtidig beregning med et to-dimensionelt profil beregningsprogram til bestemmelse af trykforhold omkring profilet og dermed separationspunktets beliggenhed.

For bestemte rotoromdrejninger er der fundet rimelig overensstemmelse mellem beregnet og visualiseret separationsfordeling. Generelt er der dog observeret større kordevis bevægelse i separationspunktet end svarende til beregningerne. Det er observeret, at separationspunktet under en omdrejning i visse tilfælde kan bevæge sig næsten helt fra forkanten til bagkanten og tilbage, ref. 10.1.2.

Det har vist sig, at tårnets forstyrrelse af strømningsfeltet er væsentlig for de aerodynamiske kræfter på bladene. Aerodynamikprogrammet er derfor udviklet til også at medtage dette.

Strukturel mekanik

Formålet er at udvikle metoder til både eksperimentelt og teoretisk at bestemme en vindmølles strukturelle dynamik og belastningsforhold.

For Danwin møllen er den strukturelle dynamik bestemt både teoretisk med en finite element model og ved modalanalyse i stilstand med vinden som excitation. I modellen er visse vanskeligt modellerbare formparametres stivhed og dynamik fundet ved måling. F.eks. er bladet målt i opspændingsplan og derefter modelleret, så overensstemmelsen opnås. Resultatet giver en bedre overensstemmelse mellem model og virkelighed for den fuldstændige mølle.

Det er herudfra undersøgt, hvorledes de forskellige modalformer ændres ved rotation. De væsentligste modalformer for flap-svingninger er to asymmetriske og en symmetrisk rotorsvingningsform. Generelt er det fundet, at hvis rotoren ser samme stivhed i tilt- og yaw-retning (d.v.s. nikke og torsion i tårnet) vil de to asymmetriske rotormodalformer have samme frekvens. Hvis stivheden i tilt- og yaw-retningen ikke er ens, hvilket vil være det normale, separerer de. I øvrigt varierer svingningsamplituderne for de to modalformer sinusformigt, men faseforskudt 90° under en omdrejning.

Når belastninger beregnet med det udvidede aerodynamikprogram, hvor tårnskygge medregnes, benyttes som input til en simplificeret strukturel model, hvor kun de væsentligste modalformer medtages, fås en ganske pæn overensstemmelse med de rotationsmidlede målinger.

Til senere undersøgelser af bl.a. strukturel dynamik er forsøgsmøllen nu færdigmonteret og opstillet. På denne mølle kan man netop ændre stivhed og dæmpning i både tilt- og yaw-retningen.

Levetid og lastgrundlag

Det er formålet med dette projekt at opstille lastspektre og metoder til at kunne dimensionere forskellige komponenter i en vindmølle for levetid.

På Danwin møllen er der foretaget vekselasttællinger efter Rainflow metoden for de væsentligste belastningssignaler. Det

drejer sig om belastningerne i tårnfoden, i tårntoppen, (som samtidig giver rotorbelastningerne) og endelig i bladroden både kantvis og flapvis. Der er målt veksellastspektra for 10-min. perioder som funktion af vindhastighed, turbulensintensitet og yawvinkel. Indtil videre anvendes kun veksellast fordelingen uden hensyntagen til middelværdien, idet denne ifølge den danske norm for stålkonstruktioner er uden betydning. Lastspektrene for 10-min. perioder er under antagelse af en Weibull fordeling for vindhastigheden sammenregnet til et 20 års lastspektrum for hvert målepunkt. Ved anvendelse af Palmgreen-Miner's delskadeteori er der derefter beregnet en levetid for de forskellige snit. Dette er sammenlignet med tilsvarende fra normudkastet og godkendelsesreglerne. Analysen viser, at blad- og rotorlaster er i ret god overensstemmelse med eksisterende design-praksis, hvorimod tårn-belastningen har været sat ret konservativt med hensyn til udmattelseslaster.

10.2. Gust estimering (EM j.nr. 1364/87-7)

Formålet med projektet er at forbedre eksisterende metoder til beregning af forventningsværdien af de største vindhastigheds- og vindretningsstød (gust) virkende på en konstruktion, når der tages hensyn til konstruktionens udformning samt til karakteren af den atmosfæriske turbulens.

De forventede gustværdier kan vises at have en snæver sammenhæng med energispektret for den atmosfæriske turbulens. En del af indsatsen inden for projektet har derfor været koncentreret om at forbedre eksisterende modeller for dette spektrum. En væsentlig bevæggrund for at foreslå projektet var rent faktisk mistanken om, at de sædvanligt brugte formuleringer af energispektret er ukorrekte for termisk neutral stratificering af atmosfæren, der i Danmark forekommer ca. 60% af tiden, og sædvanligvis antages ved høje vindhastigheder. Ved analyse af turbulensdata fra Nibe-målingerne blev mistanken bekræftet, som illustreret på fig. 10.2.1, der viser sammenligning mellem data og to forskellige spektralmodeller. Såvel dataene som

den i forbindelse med projektet udviklede spektralmodel viser tydeligt en større energitæthed ved lave frekvenser end et af standard spektraludtrykkene, her taget fra Kaimal.

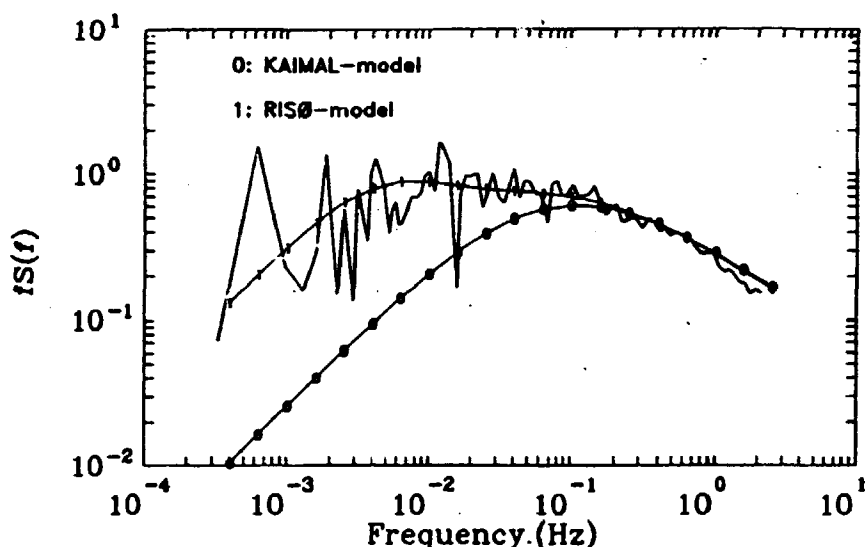


Fig. 10.2.1. Neutrale spektraldata for den horisontale vindhastighed (målt ved Nibe) sammenlignet med et af standardudtrykkene fra litteraturen (Kaimal-model) og med den i dette projekt udviklede model (Risø-model).

Betydningen af den ændrede spektralmodel for den forventede gustbelastning på en konstruktion afhænger af de transferfunktioner, der skal bruges ved beskrivelse af konstruktionens respons til et givet turbulensspektrum. Her skal fremhæves, at konstruktioners fysiske udstrækning medfører, at deres middelsrespons findes ved brug af et lavpasfilter, der stærkt vil fremhæve energiforskelle i det relevante frekvensbånd. Ligeledes vil roterende konstruktioner som vindmøller bevirke, at lavfrekvensenergien bliver foldet op til de frekvensspidser, som ligger ved rotationsfrekvensen, og hvis energiindhold er udslagsgivende for belastningen på vingerne.

Derfor har den anden arbejdslinie inden for projektet været koncentreret om at vurdere og raffinere beskrivelsen af de transferfunktioner, der skal bruges i forbindelse med estimering af belastningen på vindmøller.

En samlet rapport om projektets resultater forventes færdig i midten af 1988.

10.3. Kohærensundersøgelse for vindmøller (EM j.nr. 1364/85-4)

Energiproduktionen fra en vindmølle er stærkt afhængig af vindens gennemsnitlige styrke. Det forholder sig på den måde, at er den årlige middelvindhastighed dobbelt så stor på et sted som på et andet, da vil kW-time produktionen på det første sted være 8 gange så stor som på det andet sted. Selvsagt udsøges derfor placeringer for møllerne med høje vindhastigheder.

Vinden har imidlertid også en destruktiv virkning, og det er en vigtig del af arbejdet med konstruktion af vindmøller at sikre, at de enkelte komponenter og konstruktionen som helhed kan modstå vindens påvirkninger.

Ved beskrivelse af vinden med henblik på at beregne vindbelastninger på møllekonstruktionen er det vigtigt at kende vindfluktuationernes (vindstødenes) karakter: Deres rumlige udstrækning og deres hastighed. Udstrækningen og den hastighed, hvormed fluktuationerne kommer og går, kan matematisk beskrives ved begrebet kohærens. Detaljer i kohærens er af stor betydning for vindens dynamiske påvirkning af konstruktionen.

Ved et eksperiment udført i Lammefjorden er kohærensens studeret i detaljer. 16 vindhastighedssensorer (anemometre), monteret i 4 master, har målt vinden fra oktober 1986 og ca. 1 1/2 år frem. Midler fra EF har gjort det muligt at lade opstillingen stå og fortsætte dataindsamlingen, således at der vil være data fra en dobbelt så lang periode. Målingerne er blevet forbehandlet og lagret på magnetbånd.

Måleresultaterne er nogle af de bedste af deres art og vil give mulighed for at bestemme kohærenslængder, turbulensskalaer og andre parametre, som er vigtige for så præcis en bestemmelse af vindbelastningerne som muligt.

OMRÅDE NR. 14: FYRINGS- OG FORBRÆNDINGSTEKNIK

14.1. Afprøvning og verifikation af laserbaserede målemetoder (EM j.nr. 2433/86-16)

Formålet med projektet er at verificere værdi og nøjagtighed af moderne laserbaserede målemetoder i forbrændingssystemer. Indsatsen koncentrerer sig først og fremmest omkring berøringsløs måling af gas- og partikelhastighed (D-2), partikelkoncentration og partikelstørrelsesfordeling.

I første kvartal af 1987 var en Risø-medarbejder udstationeret på SANDIA i USA, hvor indflydelsen af varmeudviklingen omkring en brændende partikel blev undersøgt med hensyn til en optisk størrelsesmåling af partiklen. Anskaffelse af et udstyr til måling af partikelhastighed, -størrelse og -koncentration er forberedt til medio 1988.

Bygning af en større kulstøvsfyret forsøgskedel, 2 MW, med indre diameter på 1.2 m er påbegyndt, jvf. projekt 1223/87-1 "Forbrænding i kulstøvbrænder". Forsøgsovnene vil blive udstyret med måleporte for afprøvning af konventionelt måleudstyr og laserudstyr, og da ovnen også er velegnet til udvikling og testning af måleprober, vil avancerede målinger i højere grad kunne udføres i industrien og på kraftværker fremover.

14.2. Praktisk anvendelse af lasermåleteknik (EM j.nr. 1433/86-17)

Projektets formål er afprøvning i "store" kedelanlæg af laserbaserede målemetoder for hastighed og partikelstørrelse.

Det har vist sig, at det i Danmark eksisterende udstyr ikke kan måle tilstrækkeligt nøjagtigt, hvorfor der er indledt et samarbejde med Forskningscentret Harwell i England om udvikling og køb af nødvendigt udstyr. I løbet af 1987 blev skitseprojektningen foretaget, og udstyret forventes leveret i løbet af 1988, hvorefter arbejdet genoptages.

14.3. Udvikling af EDB-model for stationær tre-dimensional turbulent gas-partikel strømning (EM j.nr. 1433/85-10)

Partikler fremført af en gasstrøm er et ofte forekommende fænomen. Det udnyttes til transport af partikler f.eks. i forbindelse med pulverslukkere og spraydåser, ved indfødingen af kulstøv i kraftværkskedler etc. Det kan også være en uønsket, men svært undgåelig effekt, som i raketmotorer, hvor en del brændstof rives uforbrændt med ud gennem dysen.

Dette projekt, som udføres i samarbejde med Laboratoriet for Varme- og Klimateknik, DTH, fokuserer på kraftværkskedler; ikke så meget på indfødingssystemet, men på selve kedelrummet, hvor kulstøvspartiklerne kommer ind, opvarmes, afgasser, forbrænder og afgiver den kemisk bundne energi som varme, for til sidst som askepartikler at forlade systemet med røggassen eller måske at slå sig ned et sted på ovnvæggen.

Det langsigtede mål er at få beskrevet processerne i fyret så godt, at de lokale forhold overalt i fyret kan beregnes. Det kortsigtede mål for projektet er at få den nødvendige ramme for procesmodellerne opbygget samt at finde og indbygge up to date procesmodeller.

Rammen består af flere dele: en 3-D steady state gas flow beregning, der inkluderer beskrivelse af turbulens; en partikel-flow model, der følger et begrænset, men repræsentativt antal partikler gennem flow domænet samt en model for den energiudveksling mellem partikler, gas og vægge, der skyldes stråling.

Procesmodellerne omfatter modeller for turbulens, gaskomponentopblanding, kulafgasning, koksforbrænding, gasforbrænding, konvektiv varmetransport, størrelsesfordeling af partikler, partikelnedslag på vægge etc.

Status ultimo december 1987: 3-D gasflow programmets turbulens model er blevet revideret og forbedret, og en relaxa-

tionskoefficientberegning er indført for opnåelse af hurtigere konvergens. En delrapport (ref. 14.3.1), der beskriver dette program, er udsendt.

Et partikelflowprogram, der anvender det geometriske og flowmæssige resultat fra gasflowprogrammet, er færdigskrevet og afprøvet på simpel rørgeometri. Det indeholder modeller for gas-turbulensens dispersive indflydelse, for partikelstørrelsesfordelingen og for partikeltæthedsfordelingerne over indløbene og er desuden forberedt for indflydelsen fra en forbrændingsmodel.

Strålingsmodellen er opstillet og afprøvet for volumen til volumen stråling. Her regner den for samme nøjagtighed cirka dobbelt så hurtigt som en tilsvarende Monte Carlo strålingsmodel.

OMRÅDE NR. 15: ENERGILAGRING

15.1. Udvikling af materialer til brændselsceller med ilt-ionledende faststofelektrolytter

(EM j.nr. 1443/85-7)

EM j.nr. 1443/86-6)

(EM j.nr. 1443/87-10,

Projektets hovedformål er at opbygge og afprøve iltionleder-baserede brændselsceller i laboratoriestørrelse. Herved opnås de første danske erfaringer med nye fremstillingsmetoder for monolitiske cellestrukturer med langtidsstabilitet af materialer samt viden om drift og design af højtemperaturbrændselsceller (SOFC - Solid Oxide Fuel Cell). Denne type brændselscelle har antagelig en længere udviklingsperiode foran sig end fosforsyre og alkaliske brændselsceller. Risø har ca. 10 års erfaring inden for iltionledende keramikker, hvilken bør fastholdes og udvides gennem nærværende projekt, mens vi ingen erfaring har i Danmark med de to sidstnævnte cellyper.

Forskellige fremstillingsmetoder til opbygning af hele arrays af brændselsceller med op til et par hundrede cm^2 areal afprøves. Her tænkes primært på tapecasting, til hvilket formål der opbygges et udstyr på Risø. Tapecasting er nødvendig dels for at kunne lave porøse supportmaterialer dels for at kunne fremstille store arealer ved en rimelig hurtig og billig metode. I tre etaper vil det blive forsøgt at bevæge sig frem mod stedse større celler, fra nogle få cm^2 elektrodeareal (1988) over celler med 20-30 cm^2 (1988-89) til celler i størrelsen 100-300 cm^2 elektrodeareal (1990).

Langtidsstabiliteten af elektrokemisk aktive materialer og konstruktionsmaterialer i oxyderende og reducerende atmosfære ved temperaturer mellem 600-1000 °C bliver hermed fastlagt under realistiske forhold i de etablerede brændselsceller. Undersøgelser af elektrodekinetik på elektroder med blandet elektronisk og ionisk ledningsevne (til erstatning af Pt-elektroder på iltsiden) vil blive foretaget in situ i de enkelte brændselsceller.

15.2. Elektromagnetisk svinghjulslager.

(EM.j.nr. 1443/86-9)

Denne opgave angår selve svinghjulet, der ved at ændre sit omdrejningstal med en faktor 2 er i stand til at bremse f.eks. en 48 t bus op og senere starte og accelerere den til omtrent samme hastighed uden brug af motor.

Det bedste af de hidtil kendte svinghjul på dette felt er udviklet af BP til deres enhed KESS.

Sådanne mobile svinghjul består normalt af krans og nav i fiberforstærket komposit limet til en aksel af stål eller metal. De påvirkes af mange forskellige kræfter, herunder gyrokræfter, der giver store påvirkninger på linsamlingerne, der ligger på ca. 80 mm diameter. Det har derfor været nødvendigt at anvende kraftige og komplicerede 4-dobbelte nav med i alt 8 linsamlinger.

Vi har lavet et helt nyt svinghjul af en ganske enkel konstruktion med kun een linsamling, der alene påvirkes af forskydningsspændinger og ligger på 200 mm diameter, hvor disse spændinger for samme bredde af samlingen er reduceret med en faktor $(80/200)^2 = 0,16$.

Denne konstruktion bliver bl.a. derfor langt stærkere, således at den kan køre med et højere omdrejningstal, og da den samtidig har en bedre vægtfordeling, kan den oplagre dobbelt så stor energi og afgive dobbelt så stor effekt, selv om svinghjulet har uforandret vægt og ydre dimensioner.

Gyrokræfterne optages i det nye svinghjul som rent træk og tryk i den bærende akselkonstruktion, der derved bliver meget let; den vejer mindre end 4 kg, og det bidrager til den gode vægtfordeling. I linsamlingen giver gyrokræfterne kun forskydningsspændinger, hvilket er en stor fordel.

For at være sikker på at undgå trækspændinger i limen er linsamlingen belastet med en moderat trykpåvirkning.

Svinghjulets krans er baseret på et af de nye termoplastiske matrixmaterialer, der udmerker sig ved stor sejhed og styrke og et lavt E-modul, der gør det muligt at opnå en spændingsfordeling, der matcher med den bærende akselkonstruktion. Risø er ved at indrette faciliteter til vikling med disse nye materialer.

Den endelige konstruktion af svinghjulet er endnu ikke fastlagt.

15.3. Lithiumbatterier med flydende katode

(EM j.nr. 1443/86-1)

(EM j.nr. 1443/87-1)

(EM j.nr. 1443/87-9)

Ovenstående titel dækker flere projekter, som, når de betragtes under en meget overordnet synsvinkel, kan dækkes af denne fælles titel. Projekterne udføres i samarbejde med den danske producent af lithiumbatterier, GN-Batteries. Også projekternes baggrund er fælles. Der er et stigende behov for batterier, som er betydeligt bedre end de kendte batterier, f.eks. blyakkumulatoren. Denne er for tung og for dyr til en række potentielle anvendelser. Blyakkumulatoren fungerer også dårligt ved lav temperatur.

Lithiumbatterier med flydende katoder er batterier, hvor den positive elektrode (katoden) består af en oxiderende væske, SOCl_2 (thionylchlorid), SO_2Cl_2 (sulforylchlorid), SO_3 (svovl-trioxid) eller SO_2 (svovldioxid). Den negative elektrode består af metallisk lithium. De har meget høje energitætheder, ca. 10 gange højere end blyakkumulatorens, og en effekttæthed, der er på niveau med denne. Prisen pr. Wh kapacitet er lavere end for blyakkumulatoren, og for f.eks. lithium-sulforylchlorid går temperaturområdet, hvori batteriet virker godt, fra -50°C til $+70^\circ\text{C}$. Med andre ord, det ser ud til, at denne batteritype kan blive fremtidens batteri.

Der er (eller var) dog tre betydelige problemer, som skal overvindes, før disse batterier vil få en bred praktisk anvendelse. Disse problemer er alle knyttet til det faststof-elektrolytlag, som dannes, når lithium eksponeres til den oxiderende væske (se fig. 15.3.1.). Problemerne er:

- 1) Forsinket virkning. I tilfælde af, at batterierne står ubrugt i lang tid (måneder) går der nogen tid (sekunder til minutter) fra man begynder at belaste batteriet, til man får fuld spænding og strøm fra batteriet. Denne for-

sinkelse skyldes en forøget indre modstand, som er forårsaget af, at tykkelsen af faststofelektrolytten vokser med tiden (se fig. 15.3.1.). Når batteriet belastes, nedbrydes det fortykkede lag efterhånden, og et nyt tyndt lag dannes.

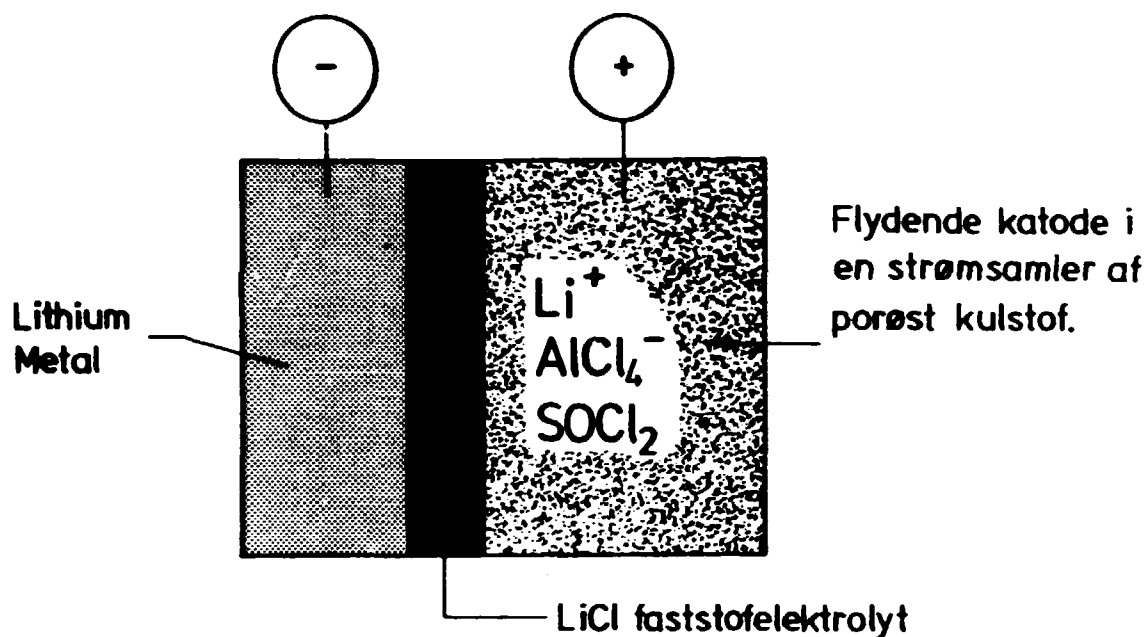


Fig. 15.3.1. Principskitse af et lithiumbatteri med flydende katode. Det er nødvendigt at tilsætte et lithiumsalt (her LiAlCl_4) til den oxiderende væske (her SOCl_2). Når lithiummetal udsættes for den flydende katode, SOCl_2 , dannes der spontant en faststofelektrolytfilm af lithiumchlorid, LiCl . Med tiden vokser LiCl -laget. Dets væksthastighed er meget afhængig af urenheder og additiver i den flydende katode.

- 2) Batterierne kan ikke genoplades tilstrækkeligt mange gange. På grund af at faststofelektrolytten er ujævn vil ladestrømmen, som genudfælder lithiumet være ujævn (se fig. 15.3.2). Derved udfældes lithiumet så ujævnt, at lithiumelektroden efter tilstrækkelig mange genopladninger bliver til pulver, og batteriet bliver derved ødelagt.

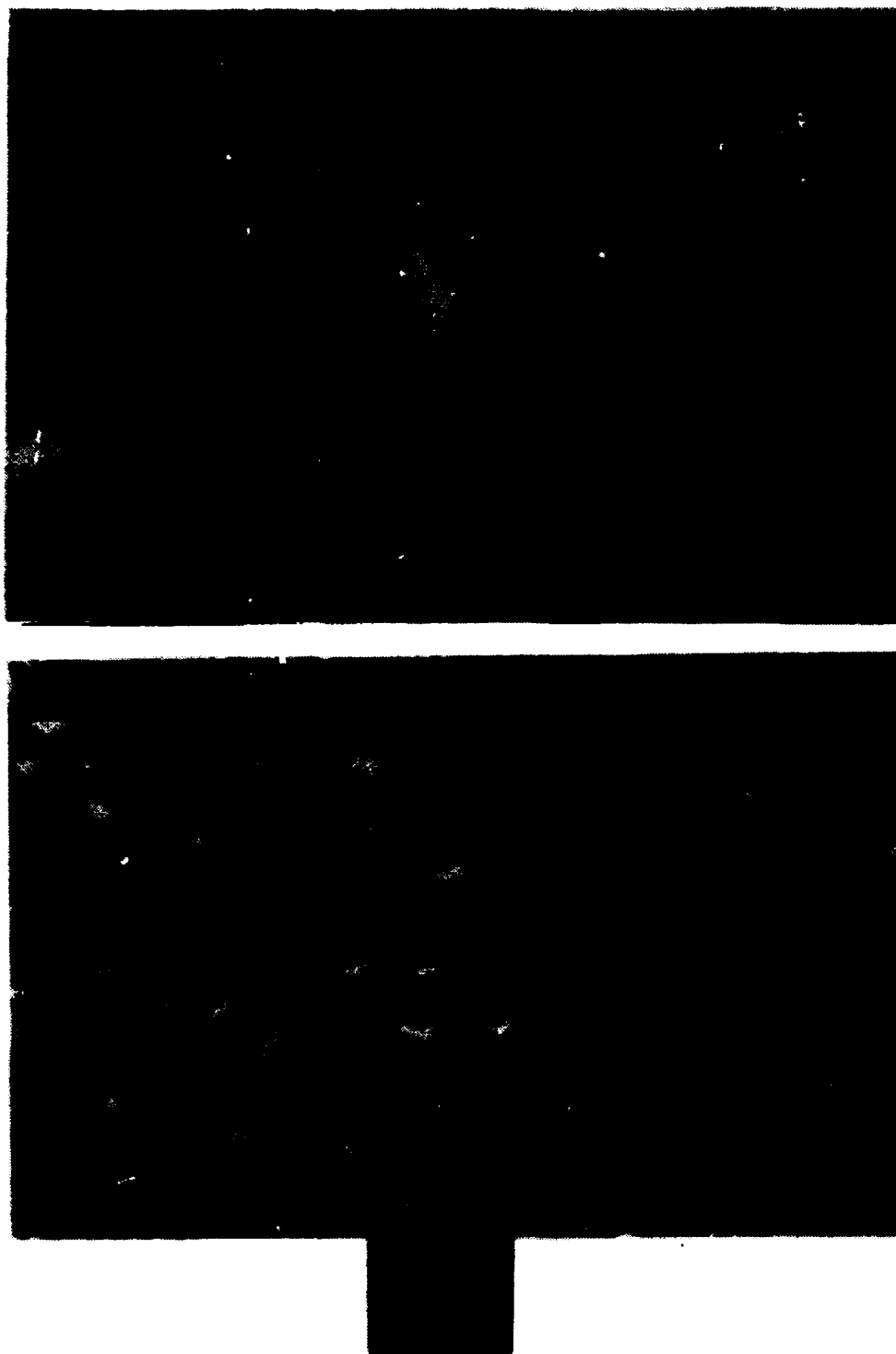


Fig. 15.3.2. Scanning-elektronmikroskopi-billeder af LiCl-lag (faststofelektrolytlag). På øverste billede er laget dannet i en katode af 1.8 M LiAlCl₄ i SOCl₂. På nederste billede er laget dannet i en tilsvarende væske, men den var også tilsat 0.7 M SeO₂ (selendioxid).

- 3) Sikkerhed. Store batterier (med et volumen på ca. 1 l eller derover) har vist sig at kunne eksplodere, hvis de varmes op til temperaturer over lithiums smeltepunkt (180°C). Hvis der sker en hurtig opvarmning, revner faststofelektrolytlaget, som under normale forhold hindrer den oxiderende væske i at reagere direkte med lithiumet. Så længe lithiumet er fast, sker der ikke noget ved det, idet faststofelektrolytlaget gendannes spontant ved reaktion mellem lithiumet og den flydende katode. Dog er der en varmeproduktion forbundet med gendannelsen af laget. Over en vis temperatur (180°C) og over et vist volumen (1 l) er varmeproduktionen så hurtig og varmeafgivelsen til omgivelserne så langsom, at batteriet termisk set løber løbsk, hvilket ender i en eksplosion.

Det endelige mål for Metallurgiaafdelingens batteriprojekter er at løse alle disse problemer ved at finde ud af:

- 1) Hvordan styrer man faststofelektrolytlaget, så det forbliver tyndt,
- 2) hvordan laver man elektrolytlaget meget homogent, og
- 3) hvordan kan man understøtte laget i en grad, så det forbliver intakt, også når det opvarmes, til lithiumet smelter.

Der arbejdes med at løse disse problemer på mange laboratorier verden over. Risøs bidrag er at studere processen, der danner faststofelektrolytlaget, samt at studere egenskaberne af lag, som er dannet under forskellige betingelser. Der er opnået en betydelig indsigt i denne proces. På fig. 15.3.3. er lagdannelsesprocessen søgt illustreret med fire øjebliksbilleder.

Status er, at man nu har en viden, så problem 1, den forsinkede virkning, kan undgås. Der findes endda flere metoder hertil, og en af dem er et resultat af Risøs arbejde. Det næste problem, genopladeligheden, arbejdes der med nu. Det tredje problem, sikkerheden, har man på Risø ikke rigtigt taget hul på endnu, fordi man i det systematiske studium af fast-

stofelektrolytdannelsen ikke er kommet til det punkt endnu. Der arbejdes andre steder med problemet ud fra "forsøg og fejle" metoden. Denne metode er meget ressourcekrævende, så på dette punkt nøjes Risø med at følge situationen internationalt.

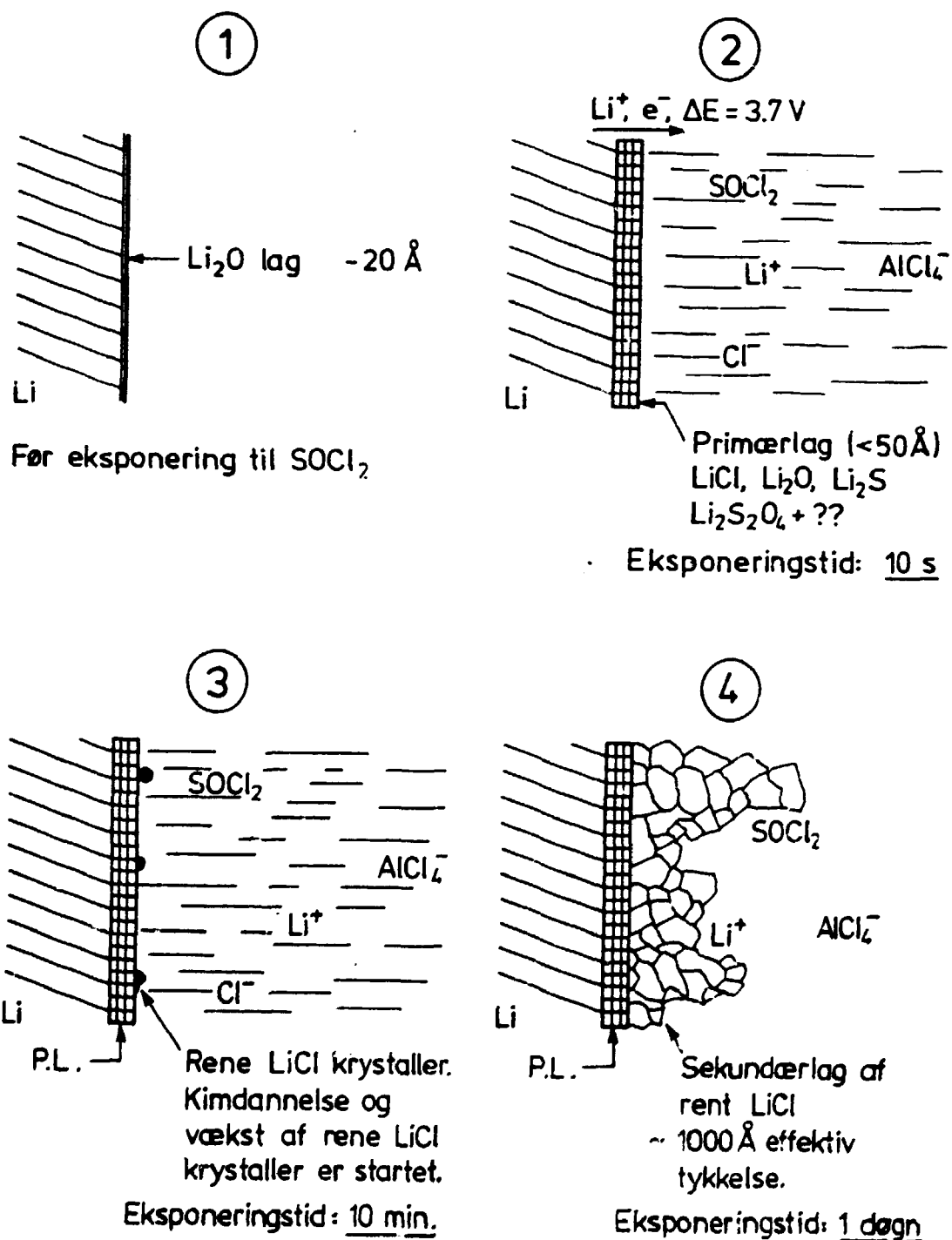


Fig. 15.3.3. Skitser af fire situationer i forløbet af LiCl-faststofelektrolytfilmens dannelse på lithium i thionylchlorid

15.4. Lagring af industriel Hydrogen (EM j.nr. 1443/85-11)
(EM j.nr. 1443/86-8)

Undersøgelserne af hydrogenoptagelse i magnesium under tilstedeværelse af urenheder, som forekommer i industrielt fremstillet brint, har til formål at belyse hvilke minimumskrav, der må stilles til renheden af hydrogen, som tænkes lagret i form af magnesium-hydrid. Ved udgangen af 1987 var virkningen af følgende urenhedskomponenter blevet undersøgt: H_2O , N_2 , O_2 og CO_2 . På trods af forskellige kemiske virkninger af disse forbindelser over for magnesium er effekten af deres tilstedeværelse i koncentrationer over 0.1% stort set den samme ved de undersøgte betingelser (ca. 400°C og 23 bar). Det, der iagtages, er en reduktion i hydrogenlagringskapacitet, som er temmelig markant, men som ikke er blivende, hvis magnesium-materialet igen udsættes for ren hydrogen. Konklusionen er, at det primært er af steriske grunde, at lagringskapaciteten nedsættes, når der er urenheder i hydrogenet, og at der kun i mindre omfang sker egentlig reaktion mellem metal og urenhed under dannelse af (termodynamisk favorabelt) oxid og nitrid.

Undersøgelse af virkningen af CO i hydrogen forestår endnu, inden projektet afsluttes.

15.5. Karakterisering af Palladium som elektrodemateriale i brændselsceller (EM j.nr. 1443/85-6)
(EM j.nr. 1443/87-8)

Baggrund

På indeværende tidspunkt er der i projektet udviklet metoder til fremstilling og opspænding af Pd-membraner med tykkelser ned til 4 μm . Pd-emner af en så lille tykkelse er vanskelige at fremstille uden huller, men ved brug af den såkaldte lift-off teknik (ikke-adhæsiv sputtering) er det lykkedes, ligesom emnerne er blevet opspændt gastæt.

Sideløbende med de ved sputtering fremstillede membraner er der produceret nedvalsedede membraner, som ligeledes kan opspændes gastæt. Valseteknikken giver membraner af tykkelser ned til 15 μm .

I det oprindelige projektforslag var der forudset målinger på et batteri bestående af en Pd/H-elektrode, basisk elektrolyt samt en NiOOH-katode. Dette design har vist sig uegnet til målinger med henblik på at karakterisere funktionen af Pd-elektroden, og i stedet er målinger blevet udført på et system bestående af en Pd/H-anode, 30% KOH i vand og en Pd-katode. Der er blevet målt spænding i forhold til en Ag/AgCl mættet KCl referenceelektrode ved hydrogentryk på 1.2 bar. Det beregnede ligevægtpotential for 1.2 bar H_2/H^+ (pH=14.7)-elektroden i forhold til nævnte referenceelektrode er -1103 mV. De målte potentialer har ligget mellem -1050 og -1100 mV, lidt mere anodisk end beregnet, sandsynligvis fordi elektrolytopløsningen ikke har været helt O_2 -fri. Ved polarisering af cellen med en sweephastighed på op til 20 mV/sek. trækkes der højest strøm ved to polariseringer, nemlig ca. 50 mV og ca. 600 mV. Polarisationen på 600 mV er mindre interessant for batterianvendelse, idet dette svarer til knapt halvdelen af spændingen i batteriet, hvilket betyder, at kun halvdelen af den til rådighed værende energi omdannes til elektrisk nytteenergi. Polarisationen på 50 mV er derimod tilstrækkelig lille til, sammenholdt med den målte strømtæthed (ca. 5 mA/cm^2 for en Pd-membran med tykkelse på 33 μm) at være interessant set fra et anvendelsesorienteret synspunkt. Blindforsøg med palladium uden hydrogenkontakt har vist, at begge toppe i strøm/spændingskurven skal tilskrives hydrogen. Det må derfor formodes, at det intermediære fald i strøm ved polarisering over 50 mV skyldes enten en blokering af Pd-overfladen ved forurening eller diffusions-/faseomdannelsesforhold i selve metallets indre.

Forsøg med en 4 μm Pd-elektrode viste kvalitativt samme stigning i strøm ved 50 mV polarisering som 33 μm elektroden,

men strømmaksimum var her kun ca. 2.5 mA/cm². Grunden til denne tilsyneladende modstrid (større strøm fra tykkere elektrode) er ikke kendt endnu, men forsøg har vist, at hydrogenoptagelse i palladium, både hvad angår hastighed og mængde, afhænger stærkt af materialets tilstand.

15.6. Varmelagring i grundvandsreservoir

(EM j.nr. 1443/85-9)

I 1987 har det været muligt at injicere al den til rådighed værende overskudsvarme fra Nordforbrænding. Ligeledes er der for første gang i projektets levetid tilbageleveret en acceptabel mængde energi fra lageret.

Tilbageleveringsperioden fik dog ikke den varighed, som der var kapacitet til, fordi varmevekslerne satte til med belægninger af jern og humus, hvilket var noget man ikke havde observeret i lagringsperioden.

Ved lagring opvarmes det kolde grundvand til fjernvarmetemperaturen og injiceres ved ca. 90°C i centerboringen. Ved 90°C er opløseligheden for jern/humus i vand højere end ved de eksisterende 10°C i grundvand. En del af det i jorden naturligt forekommende jern opløses derfor i grundvandet.

Ved tilbagelevering pumpes det varme jern-/humusholdige grundvand op og afkøles i varmevekslerne til 60°C. Opløseligheden af jern/humus i vand ved 60°C er lavere end ved 90°C, og en del udfældes derfor efter afkølingen.

Det udfældede jern/humus sætter sig overalt på rørstrengen, specielt i varmevekslere og boringer, der meget hurtigt tilstopper.

Dette vil være et alvorligt problem for alle højtemperaturvarmelagre, hvor der i naturen er jern og humus til stede. Hvis en sådan jern-/humusudfældning ved afkøling ikke kan for-

hindres eller koncentrerers til ét sted, vil varmelagring derfor ikke være mulig.

Projektet søges videreført i 1988 med henblik på først at kortlægge og siden afprøve en teknisk praktisk løsning på jern/humus problemerne.

15.7. Lavtemperaturvarmelagring (EM j.nr. 2263-307)

Rapport med titlen: "Lavtemperaturvarmelagring på Risø, Skitseprojekt" udkom november 1987.

Der er opnået økonomisk tilsagn til etablering af et lager på Risø fra Teknologistyrelsen, Energistyrelsen samt EF's Energi Demonstrationsprogram.

OMRÅDE NR. 18: UDREDNINGER OG DOKUMENTATION

18.1. Edb-registrering af dansk litteratur og forskning

(EM j.nr. 151/85-25)

(EM j.nr. 151/86-22)

Risø Bibliotek har fortsat den løbende indsamling, analyse og edb-registrering af dansk energilitteratur og danske energiforskningsprojekter. Ca. 720 dokumenter er behandlet (rapporter, tidsskriftartikler, bøger, standarder, love m.m.) Der er registreret 225 nye projekter og foretaget ajourføring af ca. 600 projekter. Det er først og fremmest projekter med støtte fra Energiministeriet og Teknologirådet.

Registreringerne er indgået i en række databaser inden for energiområdet i overensstemmelse med retningslinier vedrørende emne/niveau for disse (U.S. Department of Energy's Energy Data Base, IEA's Coal Data Base, de nordiske energibibliotekers database Nordisk Energi Indeks samt EF-databasen SESAME).

Beskrivelserne af igangværende energiforskningsprojekter er endvidere indgået i Nordisk Ministerråds katalog over nordiske energiforskningsprojekter, hvis udgivelse varetages af Risø Bibliotek.

Der er udarbejdet følgende oversigter over dansk energiforskning:

1. Liste over danske forskningsprojekter inden for fjernvarmeområdet til brug på et møde i IEA regi (International Energy Agency).
2. Liste over danske EF-støttede projekter til Forskningssekretariatet.
3. Liste over danske demonstrationsprojekter for Energiministeriet.

Databasen Nordisk Energi Indeks er blevet markedsført sammen med databasen SESAME ved tilbud om 2 timers gratis søgning i april 1987.

Risø Bibliotek har været konsulent i forbindelse med oplægning af SESAME på I/S Datacentralen og fungerer nu som rådgiver over for brugere af basen med hensyn til indhold og søgeteknik.

Den 26. januar 1987 underskrev Energiministeriet en aftale med det Internationale Energiagentur (IEA) om "Energy Technology Data Exchange". Risø Bibliotek forestår den praktiske implementering af aftalen. Aftalen gennemføres som en del af den udvekslingsaftale, som Energiministeriet allerede har med det amerikanske energiministerium. Denne aftale omfatter også indsamling og registrering af energiforskningsprojekter og varetages også af Risø Bibliotek.

Sammenfattende kan det siges, at registreringsprojektet

- medvirker til at udbrede kendskabet til dansk energiforskning i ind- og udland,
- sikrer, at Danmark kan indgå informationsaftaler med andre lande og derigennem kan få adgang til væsentlige informationssystemer inden for energiområdet, samt
- danner grundlag for dansk deltagelse i nordiske energiformationsprojekter.

18.2. Udvikling af model for varme- og elproducerende energisystemer (EM j.nr. 151/87-15)

Arbejdet består i en videreudvikling af SIKKE-modellen (Simuleringsmodel for Kollektive Kombinerede Energisystemer).

Et modul for et generelt ellager er i 1987 blevet indbygget

i modellen. Ellageret beskrives ved minimum- og maksimum indhold, maksimal opladnings- og afladningseffekt, opladnings- og afladningsvirkningsgrad, startindhold samt investerings- og driftsudgifter.

Dette generelle ellagermodul kan repræsentere forskellige el-lagertyper: batterilager, svinghjulslager, pumpekraftværk. Modulet er blevet afprøvet ved en simulering af et lille pumpekraftværk i Vang på Bornholm, forsynet fra en vindmølle.

18.3. Udvikling og implementering af teknisk/økonomiske modeller på offshore området (EM j.nr. 151/85-44)

Arbejdet i 1987 har været en fortsættelse af det foregående års arbejde på indfasningsmodellen SMOG (Sequencing Model for Oil and Gas fields). Modellen er udviklet i et tæt samarbejde med Chr. Michelsen Instituttet (CMI) i Bergen. SMOG skal på optimal vis (maksimum nuværdi) fastlægge starttidspunktet for en række felter, for hvilke bl.a. investerings- og produktionsprofiler er givet. Dette sker under overholdelse af en række begrænsninger, f.eks. investeringsbegrænsning eller begrænsning på grund af transmissionssystemets kapacitet. Modellen indeholder endvidere en beskrivelse af alternative feltudbygninger samt sammenknytning af moderfelter og satellitfelter.

I 1987 er den udførte dataanalyse blevet dokumenteret (ref. 18.3.1 og 18.3.2). Herudover er der blevet udarbejdet en detaljeret design af SMOG's brugergrænsesnit (ref. 18.3.3), ligesom lay-out af de involverede skærbilleder er blevet udført (ref. 18.3.4). Programmeringen er udført, og afprøvningsen af systemet påbegyndt.

Det her beskrevne EFP-projekt har givet anledning til udarbejdelse af rapporter 18.3.1 - 18.3.7.

18.4. Driftspålidelighed for mindre vindmøller, økonomiske konsekvenser (EM j.nr. 1364/86-3)

Projektet blev igangsat i 1986 med det formål at inkludere pålidelighedsanalyse i tekniske og økonomiske vurderinger af mindre vindmøller ved en systematisk udnyttelse af driftserfaringer. Projektet er blevet struktureret således:

1. En statistisk analyse af 55 kW vindmøller på basis af publicerede driftserfaringer. 264 vindmøller var inkluderet i analysen af driftserfaringerne, hvoraf 764 fejl var registreret for perioden 1980-1985. Et af hovedresultaterne fremgår af figur 18.4.1, hvoraf ses fejlene opdelt efter system i møllerne. De kritiske systemer er blevet identificeret, hvoraf de vigtigste var kontrolsystemet, vingerne og krøjesystemet. Analysen viste, at der ikke var signifikante forskelle i driftserfaringer mellem de forskellige vindmølledegn. På baggrund heraf er det muligt at udvalge et enkelt design for en detaljeret pålidelighedsanalyse, og herefter anvende resultaterne som generelle for 55 kW vindmøller.
2. Den valgte vindmølle er blevet opdelt i 12 delsystemer, hvor fejl, der fører til driftsforstyrrelser, er blevet identificeret. Et fejltræ, der repræsenterer disse fejl, er opstillet for hvert delsystem.
3. Analyse af driftsrapporter fra et enkelt 55 kW mølledesign for at estimere fejlsandsynligheder, reparationstider, reparationsomkostninger samt det driftstab, driftsforstyrrelsen har medført.
4. På basis af pålidelighedsanalysen udføres en økonomisk analyse med det formål at kunne vurdere de økonomiske konsekvenser af forskellige strategier vedrørende vedligehold, design, komponentalternativer o.s.v.

Resultaterne af projektet forventes at blive publiceret i

1988 og vil omfatte en beskrivelse af den tekniske-økonomiske analyse, hvor ud fra forslag til designforbedringer, drift og vedligehold kan vurderes. Formålet er at kunne forbedre tilgængeligheden på en økonomisk optimal måde under hensyntagen til levetidsomkostningerne.

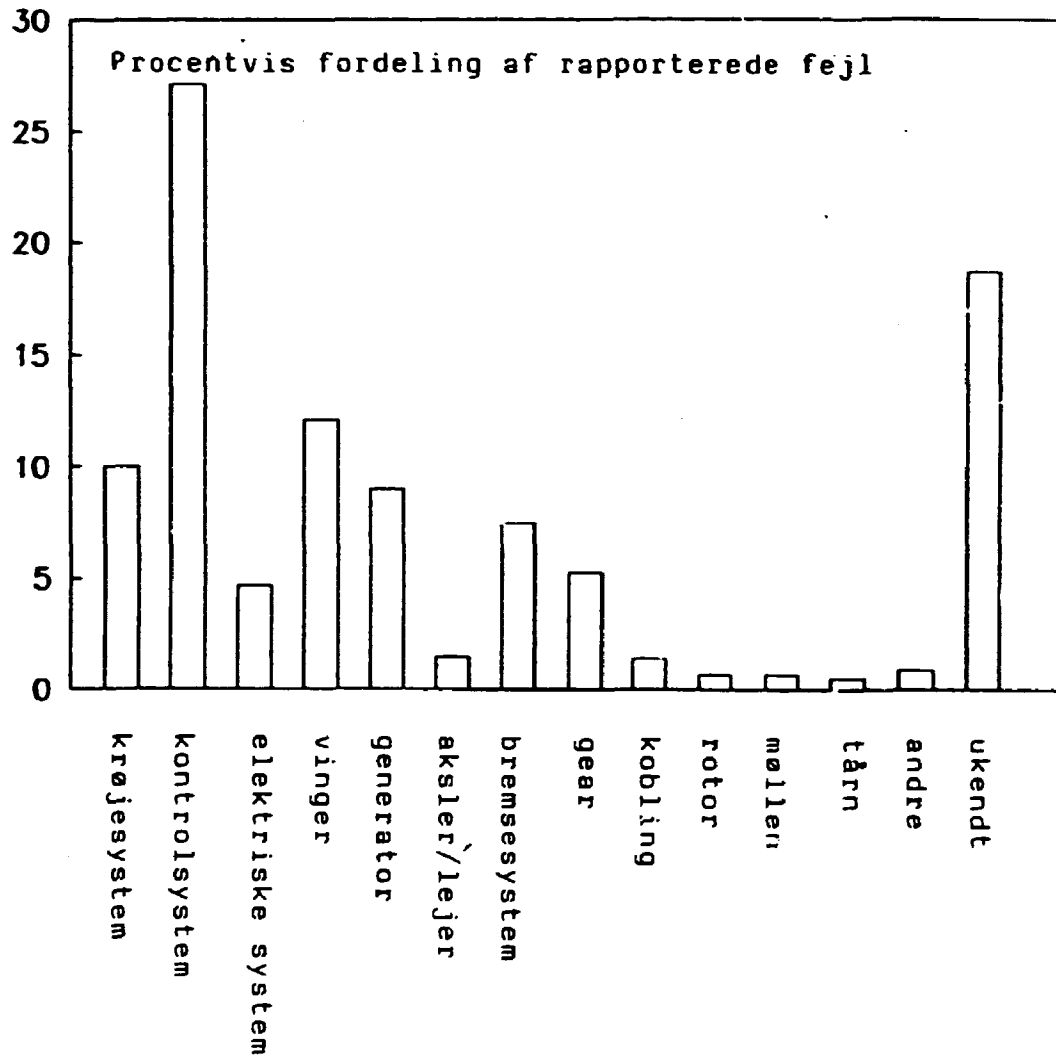


Fig. 18.4.1.

18.5. Fælles præsentation af DGU's, Risøs og DTH's olie/
gas F&U-aktiviteter for olieselskaberne
(EM j.nr. 151/87-14)

Formålet med projektet var at udarbejde et præsentationshæfte, der kunne benyttes i et fælles kontaktskabende arbejde over for olieselskaberne.

Efter afholdelse af 8 styregruppemøder udkom den 28. oktober 1987 hæftet

PETROLEUM TECHNOLOGY at DANISH RESEARCH INSTITUTES i 1000 eksemplarer (Ref. 18.5.1). Hæftet fordeltes mellem ovennævnte deltagende institutioner, og projektets 1. fase blev dermed afsluttet.

Samarbejdet blev fortsat og udvidet, og en sammenslutning under navnet DAN-PRISE er blevet stiftet. Medlemskredsen består nu af følgende institutioner:

- Danmarks Geologiske Undersøgelse
- Grønlands Geologiske Undersøgelse
- Danmarks Tekniske Højskole
- Forskningscenter Risø
- Geologisk Centralinstitut, Københavns Universitet
- Geologisk Institut, Aarhus Universitet
- Institut for jord, vand og miljøteknik, Aalborg Universitetscenter.

Der er for 1988 planlagt præsentationer af DAN-PRISE for Agip, Mærsk, Norsk Hydro og Statoil, og hæftet er benyttet som udgangspunkt for at skabe interesse og træffe aftaler om sådanne præsentationer.

Det udvidede samarbejde har medført, at en revideret 2. udgave af hæftet er planlagt, således at de senest tilkomne institutioner får mulighed for på lige fod med de øvrige at bidrage med indlæg om deres respektive aktiviteter på området.

18.6. Energiministeriets udstillingsvirksomhed
(EM j.nr. 151/86-6)

Hovedaktiviteterne i 1987 har været de to udstillinger på henholdsvis Københavns Rådhus og Teknisk Museum i Helsingør. Dertil kommer, at der er afholdt en række foredrag om Risøs virksomhed, bl.a. i forbindelse med Energiministeriets Forskningsprogrammer.

RESSOURCER

Den indsats, som i de foregående afsnit blev beskrevet som enkeltaktiviteter, involverer direkte medarbejdere i de fleste af Risøs afdelinger og anlæg. Mange projekter gennemføres ved medvirken fra flere afdelinger, hvorved Risøs muligheder for at gennemføre opgaver i en projektorienteret tværfaglig organisation udnyttes. De fleste projekter har udbytte af den tekniske og administrative service, der kan ydes f.eks. af centralværksted, tegnestue og regnemaskineanlæg.

Tabel 1 (s. 69) indeholder oplysninger om de energiministerielle projektmidler, der er til rådighed for de forskellige aktiviteter, men ikke de midler, der tilføres projekterne af anden art, bl.a. fra Risøs egne bevillinger eller tilskud fra EF og nordiske forskningsprogrammer. Det ses, at der foreligger bevillinger på i alt 199 mio. kr., excl. EFP-86. De fleste af de energiministerielle projekter gennemføres som anvendelsesorienterede projekter, der viderefører den ekspertise der er opbygget ved et mangeårigt forsknings- og udviklingsarbejde på Risø.

Fig. 1.1 viser de årlige energiministerielle midler, som bevilges totalt, samt den del der bevilges til Risø. Fig. 1.2 giver regnskabsoplysninger om de forbrugte midler i perioden 1983-87. Det fremgår, at en ikke ubetydelig del af bevillingerne medgår til fremmede tjenesteydelser, dvs. kanaliseres gennem Risø til underleverandører. Det er samtidig anført, hvor stor en procentdel lønnen udgør af den samlede projektsum.

Som noget nyt har Energiministeriet fra 1986 accepteret begrebet "overhead". For EFP-86 er der tillagt et overhead på 13% af lønsummen, og for EFP-87 og fremover tillægges 30% af lønsummen. Denne overheadprocent udgør dog kun en mindre del af de samlede overhead-omkostninger. Til sammenligning kan nævnes, at Risø for kommercielle kontrakter beregner sig et overhead på 120%, excl. statsafgiften.

Fig. 1.3 viser, at antallet af Risøs løbende EFP-projekter har stabiliseret sig omkring et antal på ca. 60 gennem de sidste 4 år. Det gennemsnitlige forbrug pr. projekt pr. år er faldet fra 1.125 kkr. i 1981 til 353 kkr. i 1987.

Tabel 2 giver en oversigt over Risøs repræsentation i styregrupperne.

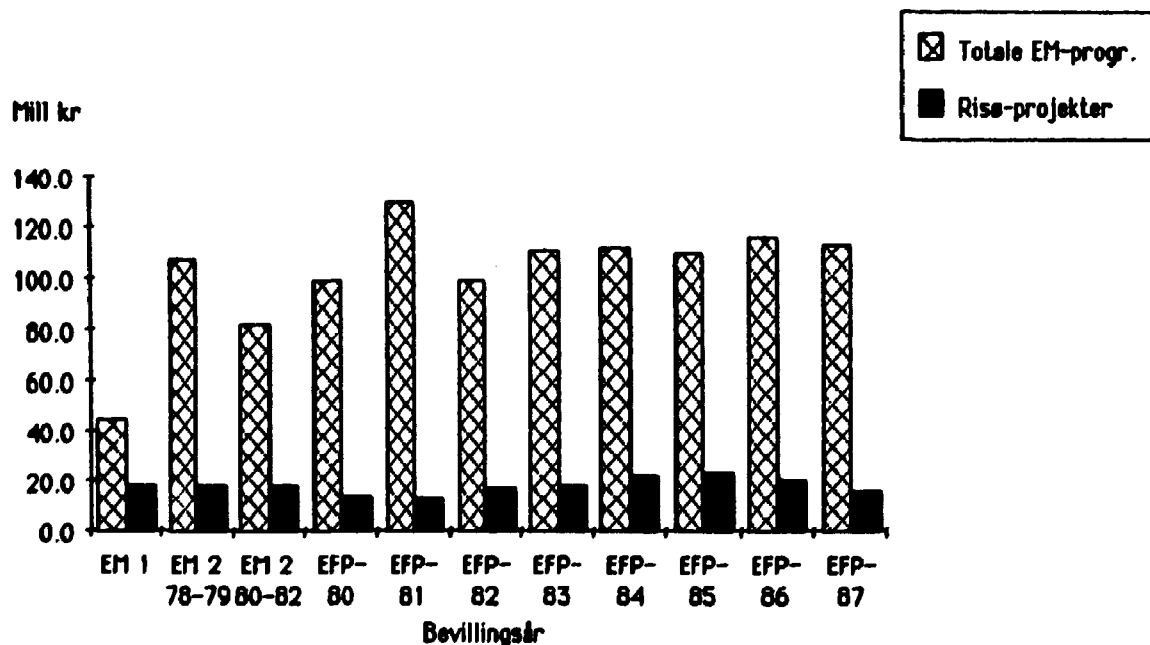


Fig. 1.1

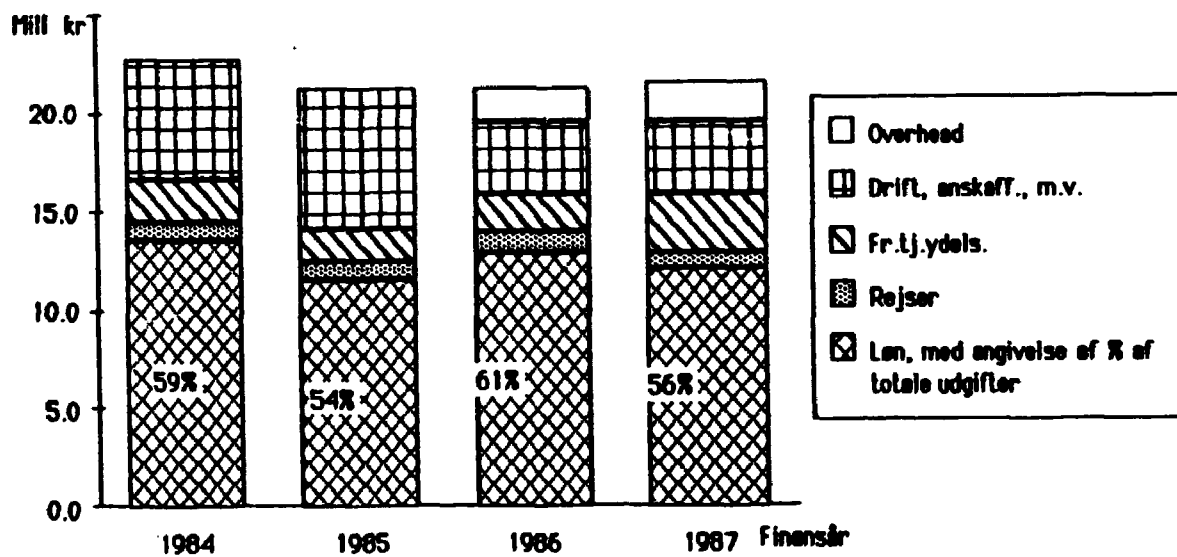


Fig. 1.2 Risøs årlige forbrug af EFP-midler 1984-87 opdelt efter anvendelse

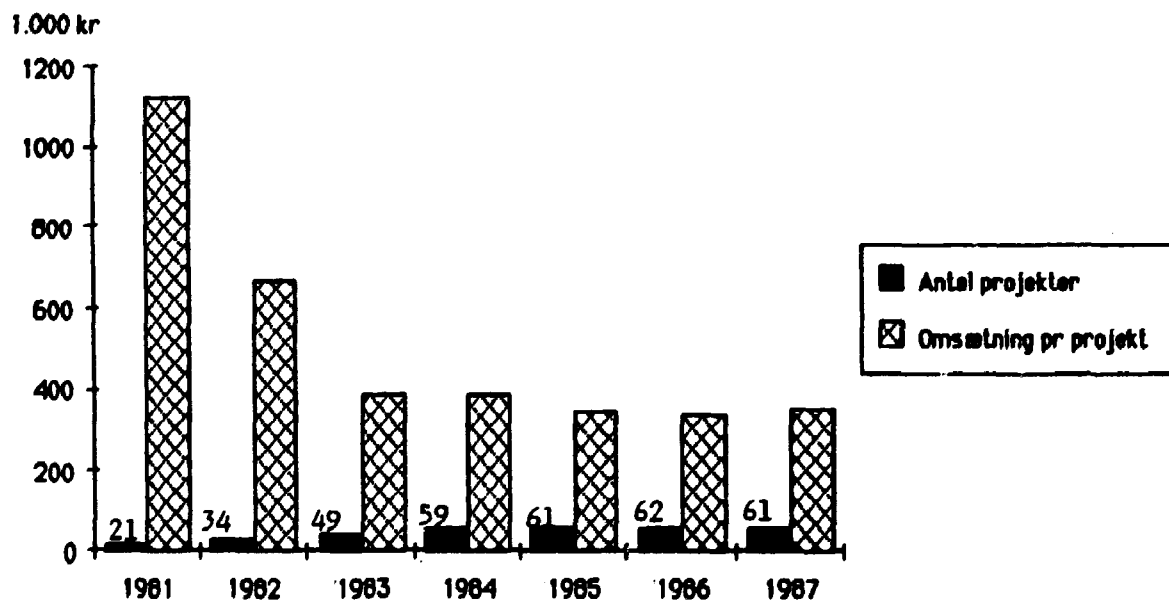


Fig. 1.3 Antallet af EFP-projekter sammenholdt med det gennemsnitlige forbrug pr. projekt pr. år.

Tabel 1.

Oversigt over bevilgede midler i finansårene 1976-1987.

Område nr.	EM 1 & 2 EFP-80 - 84	EFP-85	EFP-86	EFP-87	Total
	kkkr.	kkkr.	kkkr.	kkkr.	kkkr.
2. Industrielle processer	3.245	200	3.165		6.610
3. Landbrug	1.625				1.625
5. Olie og gas	5.560	2.340	1.950	3.200	13.050
6. Kul	7.710	3.920	300	1.940	13.270
7. Uran	42.565				42.565
8. Fusion	17.680	5.630	4.000		27.310
10. Vindenergi	27.860	4.750	5.375	6.655	44.640
11. Biomasse	540				540
13. Varmepumper	2.000				2.000
14. Fyring og forbrænding	800	2.000	1.800	2.985	4.600
15. Energilagring	25.680	3.000	2.550		34.215
17. Internationalt samarbejde	4.537	120	200		4.857
18. Udredninger		1.574	1.551	1.197	4.322
Total kkr.	139.202	23.534	20.891	15.977	199.604

Tabel 1 viser den del af de energiministerielle forskningsprogrammer, der forvaltes af Risø. Beløbene angiver kun en del af de midler, der er til rådighed for projekterne, idet midler, der tilføres fra Risøs egne bevillinger, ikke er medregnet.

I oversigten er ikke medtaget underleverancer fra Risø til de EFP-projekter, der forvaltes af andre institutioner.

Tabel 2. Risøs repræsentation i EFP-styregrupper indtil den ændrede organisation i 1987

<u>Styregruppe vedr.</u>	<u>Risø repræsentant</u>	<u>Kommentarer</u>
2. Industrielle processer og apparater	Civing. Niels Kilde Systemanalyseafdeling	Sekretær for styregruppen
3. Jordbrug	Kontorchef Ib Skovgaard, medlem af Risøs bestyrelse	Styregruppeformand
4. Transport	Civing. E. Adolph, Metallurgiaafdeling	
5. Olie og gas	Afd.leder B. Micheelsen Energiteknikafdeling	
6. Kul	Afd.leder B. Micheelsen Energiteknikafdeling	
	Civing. P. Skjerk Christensen, Systemanalyseafdeling	Sekretær for styregruppen
7. Uran	Civing. Leif Løvborg, Informatikafdeling	
9. Solenergi	Afd.leder Hans Larsen Systemanalyseafdeling	
10. Vindenergi	Civing. Flemming Øster, Direktionen	
	Afd.leder E. Lundtang Petersen, Meteorologiafdeling	
11. Biomasse	Kontorchef Ib Skovgaard, medlem af Risøs bestyrelse	
12. Varmepumper	Akademiing. J. Westermann, Forsøgssektionen	
14. Fyrings- og forbrændingsteknik	Civing. Aksel Olsen, Energiteknikafdeling	
15. Energilagring	Afd.leder Niels Hansen Metallurgiaafdeling	
Vand og bølge	Ingeniør Jørgen Jensen Kemiafdeling	

REFERENCELISTE

3.1

- 3.1.1 ENGVILD, K.C. 1987: Nodulation and nitrogen fixation mutants of pea, *Pisum sativum*. - Theor. Appl. Genet. 74: 711-713.
- 3.1.2 JAKOBSEN, I., 1987: Effects of VA mykorrhiza on yield and harvest index of field-grown pea. - Plant and Soil 98: 407-415.
- 3.1.3 JENSEN, E.S., 1987: Inoculation of pea by application of *Rhizobium* in the planting furrow. - Plant and Soil 97: 63-70.
- 3.1.4 JENSEN, E.S., 1987: Seasonal patterns of growth and nitrogen fixation in field-grown pea. - Plant and Soil 101: 29-37.
- 3.1.5 JENSEN E.S., 1987: Variation in nitrate tolerance of nitrogen fixation in the pea/*Rhizobium* symbiosis. - Plant Breeding 98: 130-135.
- 3.1.6 JENSEN, E.S., V. Haahr, 1987: Eftervirkning af ært dyrket til modenhed. - Nordisk Jordbrugsforskning 3: 585.
- 3.1.7 JENSEN, E.S., V. Haahr, 1987: Kvælstofudnyttelse i blandingskulturer af korn og bælplanter. - Ugeskrift for Jordbrug 10: 291-296.
- 3.1.8 ROSENDAL, Lis, I. Jakobsen, 1987: *Rhizobium* strain effect on pea: The relation between nitrogen accumulation, phosphoenolpyruvate carboxylase activity in nodules on asparagine in root bleeding sap. - Physiol. Plant. 71: 281-286.

5.4

- 5.4.1 Risø-M-2625. COSI-Comparison of Prediction and Assessment of Numerical Performance in Black-Oil Model.
- 5.4.2 Risø-M-2686. COSI-Comparison of Predictions and Assessment of Numerical Performance.
- 5.4.3 Risø-M-2687. Investigation of the Performance of various computers using COSI
- 5.4.4 Risø-M-2653. Simulation of End Effects in Relative Permeability Experiments.

5.6

- 5.6.1 Risø-M-2690. Large Scale Laboratory Tests of Interfacial Friction in Stratified Two-Phase flow

6.4

- 6.4.1 BERTHELSEN, F., G. Gissel-Nielsen, 1987: Afsvovlningsprodukter og Miljø. Ugeskrift for Jordbrug: 131, 902-904.
- 6.4.2 BERTHELSEN, F., G. Gissel-Nielsen, 1987: Toxicity of root-applied sulphite in Zea mays. Environmental Geochemistry and Health 9, 12-16.
- 6.4.3 GISSEL-NIELSEN, G., F. Berthelsen: Mineral uptake by barley from soil supplemented with flue gas desulphurization waste. *ibid.* (in press).
- 6.4.4 BERTHELSEN, F., G. Gissel-Nielsen: Oxidation of sulphite originating from flue gas desulphurization waste in soil. *ibid.* (in press).

- 6.4.5 GISSEL-NIELSEN, G., F. Berthelsen, 1988: Energiaf-faldsprodukter og miljø. Årsberetning 1987. Afd. f. Landbrugsforsøg, Risø.

Desuden er udviklede analysemetoder til sulfitbestem-melse præsenteret ved "4th Nordic Symposium on Ana-lytical Agricultural Chemistry" under titlen: The Chemistry of Sulphite in Soil".

Alle ovennævnte artikler belyser de problemer, der er omfattet af projektbeskrivelsen i ansøgningen til det-te projekt.

10.1

- 10.1.1 RASMUSSEN, Flemming et al: Investigation of Aero-dynamics Structural Dynamics and Fatigue.
- 10.1.2 PEDERSEN, Troels Friis, H. Aagaard Madsen: Location of flow Separation on an 11 m Wind Turbine Blade by Means of Flow Visualization and a Two Dimen-sional Airfoil Code.

10.2

- 10.2.1 FRANDSEN, S: (1988) Flapwise extreme response of windturbine blades due to turbulence loading. In proc. of WBEA Annual Conference London 23-25 March 1988.
- 10.2.2 MADSEN, P.H., Hock, S.M. and Hansfeld, T.E. (1988): Turbulence loads on the Howden 26 m diameter wind turbine.
- 10.2.3 MADSEN, P.H. and McNerney G.M. (1988): Frequency do-main modelling of free yaw response of wind tur-bines to wind turbulence. Submitted for the 8th ASME Wind Energy Symposium, 1989.

- 10.2.4 MADSEN, P.H. (1988): On rotationally sampled wind turbulence. To be submitted to Solar Energy.

14.2

- 14.2.1 RASMUSSEN, N.B.K: Udvikling af edb-model for stationær turbulent 3-D gas-partikelstrømning. Delrapport. Laboratoriet for Varme- og Klimateknik, DTH, december 1986.

15.1

- 15.1.1 BENTZEN, J.J., N. Hessel Andersen, F.W. Poulsen, O. Toft Sørensen and R. Schram: Evaluation of 2- and 4-Point Conductivity Measurements on Oxide Ion Conductors. Presented at the 6th International Conference on Solid State Ionics, Garmisch-Partenkirchen, 6-11 September 1987.
- 15.1.2 POULSEN, F.W., O. Toft Sørensen and J.J. Bentzen: Keramiske iltionledere og deres anvendelse inden for energisektoren (Ceramic Oxygen Sensors and Their Application Within the Energy Sector). Presenteret ved Nordisk Kontaktsymposium om Elektrokemi, Helsingør, 26-27 august 1987.
- 15.1.3 MOGENSEN, M: Properties of LiCl layers on Li in various SOCl₂ solutions. Journal of Power Sources 20, (1987), 53.
- 15.1.4 MOGENSEN, M: Nucleation and Growth of LiCl Passivating Layers on Electrodes in Thionyl Chloride. In L.J. Pearce (ed.), "Power Sources 11", 1987, p. 445.
- 15.1.5 MOGENSEN, M: Kinetics of LiCl Film Formation on Li Anodes in SOCl₂. RISØ-M-2619, 1987.

15.5

- 15.5.1 Rapport, nov. 1987: Lavtemperaturvarmelagring på Risø, Skitseprojekt.

18.3

- 18.3.1 LARSEN, Helge V: Dansk skattemodel i MECCA. System-analyseafdelingen, juni 1986. Fortrolig.
- 18.3.2 JØRNSTEN, Kurt, S. Storøy, B. Villadsen: A project selection and sequencing model for oil and gas fields. CMI, Bergen, May 1986. CMI-no. 862302-2. Confidential.
- 18.3.3 Software requirements specification for the user interface to the project selection and sequencing model for oil and gas fields, SMOG. Systems Analysis Department, july 1987. Confidential.
- 18.3.4 HELGESEN, Carsten, Helge V. Larsen, P. Skjerk Christensen: SMOG User Interface: Data Analysis. Part 1: Input Data. July 1987, CMI-no. 862302-4. Confidential.
- 18.3.5 HELGESEN, Carsten, Helge V. Larsen, P. Skjerk Christensen: SMOG User Interface: Data Analysis. Part 1: Output Data. July 1987, CMI-no 862302-5. Confidential.
- 18.3.6 BJØRNESTAD, Solveig, C. Helgesen, Helge V. Larsen, P. Skjerk Christensen: SMOG User Interface: Data Description. July 1987, CMI-no 862302-7. Confidential.
- 18.3.7 BJØRNESTAD, Solveig, C. Helgesen, Helge V. Larsen, P. Skjerk Christensen: SMOG User Interface: Menus and Forms. March 1988, CMI-no. 862302-6. Confidential.

18.5

18.5.1 Publication: Petroleum Technology at Danish Research
Institutes. Markedskontoret, Risø, september
1987.

APPENDIX

Status vedrørende EFP-88 tilsagn

Risø har fået tilsagn om tilskud til en række projekter under EFP-88. Budgetrammen inden for de enkelte projektområder er vist nedenfor med det beløb, der 20. juni 1988 er modtaget tilsagn om.

Det bemærkes, at nogle af tallene indeholdet beløb, som vedrører omkostninger hos andre deltagere i projekterne, men hvor det samlede beløb administreres af Risø.

Korte projektbeskrivelser er tilgængelige på Risø Bibliotek i databasen "Nordisk Energi Index".

<u>Område</u>	<u>kkp.</u>
1. Olie og naturgas	5.180
4. Vindenergi	7.690
6. Energianvendelse i erhvervslivets processer og produkter	450
8. Energilagring	3.905
9. Internationalt samarbejde	<u>4.000</u>
	<u>total 21.225</u>

Title and author(s)		Date	June 1988
The Contribution of Risø National Laboratory to the Research and Development Programs of the Danish Ministry of Energy Status December 1987 Ed. by P. Skjerk Christensen, Stine Petersen		Department or group	
		System Analysis Department and Marketing Department	
		Groups own registration number(s)	
		Project/contract no.	
Pages 80	Tables 3	Illustrations 11	References 34
			ISBN 87-550-1418-6
Abstract (Max. 2000 char.) <p>Since 1978 Risø has been responsible for a number of projects in the research and development programs of the Danish Ministry of Energy.</p> <p>This report gives a review of current and finished projects. All current projects are described briefly, stating status and results obtained, while the results of finished projects are described in more detail.</p> <p>Risø's contribution to the organization and the administration of the programs is mentioned. Finally a list of references is given</p>			
Descriptors - INIS COAL; COMBUSTION; ENERGY CONSUMPTION; ENERGY STORAGE; NATURAL GAS; PETROLEUM; PROGRESS REPORT; RESEARCH PROGRAMS; RISØE NATIONAL LABORATORY; THERMONUCLEAR REACTIONS; WIND POWER			
Available on request from Risø Library, Risø National Laboratory, (Risø Bibliotek, Forskningscenter Risø), P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark. Telephone 02 37 12 12, ext. 2262. Telex: 43116, Telefax: 02 36 06 09			

**Rekvireres fra
Risø Bibliotek
Forskningscenter Risø, postbox 49,
4000 Roskilde
Telefon 02 37 12 12, lokal 2262
Telex 43116, Telefax 02 36 06 09**

**ISBN 87-550-1418-6
ISSN 0418-6435**